المركز القومي للترجمة

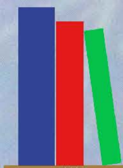
الفيزياء والفلسفة

ثورة فى العلم الحديث

تأليف: فيرنر هايزنبرج

ترجمة وتقديم: خالد قطب

2041



الفـيزياء والفلسـفة

ثورة فى العلم الحديث

المركز القومى للترجمة

تأسس فى أكتوبر 2006 تحت إشراف: جابر عصفور

مدير المركز: أنور مغيث

- العدد: 2041
- الفيزياء والفلسفة: ثورة فى العلم الحديث
- فيرنر هايزنبرج
- خالد قطب
- اللغة: الإنجليزية
- الطبعة الأولى 2014



هذه ترجمة كتاب:

PHYSICS & PHILOSOPHY: The Revolution in Modern Science

By: Werner Heisenberg

شارع الجبلاية بالأوبرا – الجزيرة – القاهرة. ت: 27354524

El Gezira, Cairo.

Tel 27354524 Fax: 27354554

الفيزياء والفلسفة

ثورة فى العلم الحديث

تـــأليـــف: فيرنر هايزنبرج

ترجمة وتقـديم: خـــالــد قــطب



2014

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

هايزنبرج، فيرنر

الفيزياء والفلسفة: ثورة فى العلم الحديث/ تأليف: فيرنر هايزنبرج، ترجمة وتقديم: خالد قطب.

ط١- القاهرة: المركز القومى للترجمة، ٢٠١٤

٢٤٨ ص، ٢٤سم

١- الفيزياء - نظريات

(أ) العنوان ٥٣٠,١

رقم الإيداع: ٢٠١١/١٦٣٦٤

الترقيم الدولى: 978-977-704-756-2

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

تهدف إصدارات المركز القومي للترجمة إلى تقديم الاتجاهات والمذاهب الفكرية المختلفة للقارئ العربي، وتعريفه بها. والأفكار التي تتضمنها هي اجتهادات أصحابها في ثقافاتهم، ولا تعبر بالضرورة عن رأي المركز.

المحتويات

تقديم

ساد الفيزياء تصور مادي قرونا عديدة، بدأها الإغريق القدماء، وبخاصة في المدرسة الأيونية، عندما حاول فلاسفة هذه المدرسة (طاليس، وإنكسمندر، وإنكسمنيس) تقديم تصور مادي للعالم، فالعالم في زعمهم يتألف من مادة واحدة، رغم التنوع اللانهائي لها، والمادة يمكن أن تتحول، وفقا لعمليتي التخلخل والتكاثف، من الحالة الصلبة أو السائلة أو الغازية إلى حالة أخرى حسب الظروف الملائمة. وقد ظل هذا التصور المادي مسيطرا، حتى العصر الحديث، عندما جاء إسحق نيوتن، ليؤكد مادية هذا العالم وآليته ، عن طريق فكرة "القصور الذاتي" التي تؤكد أن المادة، إذا وجدت في حالة سكون، ستظل كذلك إلى أبد الآبدين، ما لم تؤثر عليها قوة خارجية، تجعلها في حالة حركة، أما إذا وجدت المادة متحركة، فستظل كذلك، أيضا، إلى أبد الآبدين، ما لم تؤثر عليها قوة خارجية.

إن سيطرة المادة الثابتة الساكنة على التفكير العلمي ردحا طويلاً من الزمن، أنتج تصورا آليا ثابتا، يسير وفقا لساعة منضبطة. وقد بلغت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير الظواهر والتنبؤ بها ذروتها في القرن التاسع عشر، حيث قامت هذه الفيزياء على عدة فروض أساسية كانت تمثل نقطة الانطلاق بالنسبة لها، هذه الفروض لم تكن في حاجة إلى إثبات أو نقد لأنها واضحة بذاتها أو بديهية. لقد تناولت الفيزياء الكلاسيكية سلوك المادة في المكان وكيفية تغيرها في الزمان، وبالتالي سيطر التصور المادي للعالم، وأصبح العالم شبيها بآلة ضخمة، إذا ما بدأت في الحركة فستستمر في الدوران تحت قوانين ثابتة دون توقف، أما حقيقة أن هذه الآلة هي صنيعة العقل الإنساني، فقد بدت كأن لا أهمية ولا أثر لها على فهم الطبيعة.

إن التطورات التي حدثت في مجال الفيزياء قد أظهرت أن الطبيعة لا تسير وفقًا للقوانين الميكانيكية التي وضعتها الفيزياء الكلاسيكية. وكان هذا إيذانًا بدحض التصور الميكانيكي للكون، ثم كانت الضربة القاصمة التي لحقت بالفيزياء الكلاسيكية وبمفاهيمها، والتي انحصرت في كشف الطابع الساذج لافتراض الأثير النيوتوني، ذلك الافتراض الذي سار على نهجه الكثير من الفيزيائيين، وحاولوا البرهنة على وجوده، ولكن كل التجارب التي حاولت إثبات الأثير باءت بالفشل. وهكذا اضطرت الفيزياء الكلاسيكية إلى مراجعة مبادئها كلها مراجعة شاملة، فتبين أن هناك بعض الأخطاء التي وقع فيها العلماء الكلاسيكيون، فتعين اكتشافها وتصحيحها، ولم يتم ذلك بسهولة ودون أية مقاومة، بل إن علماء كانوا يتباهون بتفتحهم استمروا في التشبث بطرق التفكير القديمة ولم يقبلوا أن توضع قيمتها في الميزان. فقد أدخل جيمس كلارك ماكسويل وهندريك أنطون لورنتز بعض التعديلات والتغيرات الأساسية على فرض الأثير، فبالنسبة لماكسويل أصبح الأثير يتمتع بخواص ميكانيكية محضة، ولكن هذه الخواص أكثر تعقيدًا من التي تتمتع بها الأجسام الصلبة الملموسة، إلا إن ماكسويل لم يتمكن من تخيل نموذج ميكانيكي للأثير باستطاعته السماح بتفسير ميكانيكي لخواص المجال التي حددها ماكسويل نفسه، كما لوحظ، أيضًا، أن التصور الميكانيكي للأثير غير ملائم للمفاهيم الجديدة المتعلقة بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية. أما لورنتز فقد حاول تجريد فرض الأثير من كل خواصه الميكانيكية، باستثناء السكون أو الثبات، ولكن هذا لم يكن حلاً شافيًا، فالإبقاء على هذا الفرض نفسه، رغم التعديلات التي أدخلت عليه، يعد عائقًا لتقدم الفيزياء، وهذا ما فطن إليه آينشتين في نظرية النسبية، حيث جرد الأثير من كل خواصه الميكانيكية، وأحدث قطيعة مع هذا الفرض، وبالتالي انهار تصور نيوتن للمكان المطلق والمتصل.

لقد كانت المشكلة التي أثارها العلم في القرن العشرين، والتي أدت بدورها إلى القطيعة مع العلم الكلاسيكي، تكمن في عجز هذا الأخير عن التعامل، بمنهجه ونظرياته ومفاهيمه وقوانينه العلمية، مع ظواهر وعلاقات فيزيائية جديدة، فقد اقتحمت الفيزياء ميادين كثيرة ومتنوعة غير تلك التي كانت تبحثها الميكانيكيا النيوتونية وذلك في نهاية القرن التاسع عشر، من أمثلة هذه الميادين العمليات الحرارية التي انبثق عنها علم الديناميكا الحرارية، الذي يبحث في تحول الطاقة من شكل إلى آخر، وكذلك أدى البحث في الضوء إلى انبثاق علم البصريات. وكذلك أدى البحث في الظواهر الكهربائية والمغناطيسية إلى ظهور علم الديناميكا الكهربائية، الذي يبحث العلاقات القائمة بين الظواهر الكهربائية والمغناطيسية، فأدى ذلك إلى انهيار دعائم وأركان الفيزياء الكلاسيكية تماما، ولعل أبرز فشل قابلته الميكانيكيا الكلاسيكية، كان في عجز هذه الفيزياء في التعامل مع تركيب الذرة، فقد اندفع العلم في القرن العشرين لكشف أسرار الذرة، فكان أول من طرح تصورًا للذرة من الداخل هو العالم الإنجليزي جوزيف طومسون الذي رأى في عام ١٨٩٨ أن الذرة تتألف من عدد كبير من أجسام صغيرة مشحونة بالكهرباء السالبة، وأطلق عليها اسم الجسيمات الدقيقة، التي تدور في اتجاه دائري داخل الذرة، وضمن حقل كروي موجب. هذه الأجسام هي ما تعارف على تسميتها فيما بعد بالإلكترونات، وفي عام ١٩٠٣ اقترح العالم الفيزيائي فيلييب لينارد نموذجًا للذرة يقوم على وجود أزواج من شحنات موجبة وسالبة تسبح في الفضاء، وما أن انصرم العقد الأول من القرن العشرين، حتى أصبحت الصورة أكثر وضوحًا، فاقترح العالم النيوزيلندي إرنست راذرفورد عام ١٩١١ تصورًا مفاده أن الذرة في معظمها فراغ كبير، وأن الشحنة الموجبة للذرة هي التي تمنح الذرة طاقتها، وقد أطلق راذرفورد على النواة اسم بروتون، وهي كلمة يونانية تعني "الأول"، اعتقادًا منه أن البروتون هو الوحدة الأساسية التي تتكون منها المادة في الكون، ولكن راذرفورد لم يضع نموذجًا نهائيًا وكافيًا للذرة، فجاء العالم الدانمركي نيلز بور

ليضع في عام ١٩١٣ تصورا معدلا عبارة عن مخطط مصغر مشابه للنظام الشمسي، فقال إن الإلكترونات أشبه بأفلاك تدور في مدارات محددة حول النواة، وإن هذه المدارات أشبه بقشور كروية تحيط بالنواة. ثم حدثت المفاجأة الكبرى في عام ١٩٣٢، عندما قام العالم الأمريكي كارل أندرسون ببعض التجارب على الأشعة الكونية، وهي جسيمات دقيقة غامضة تصطدم بالأرض قادمة من الفضاء وبسرعات هائلة، إذ اكتشف جسيما جديدا مطابقا تمامًا للإلكترون، ولكنه خلافا له يحمل شحنة موجبة، فأطلق عليه اسم بوزيترون **Positron**، وكان لهذا الاكتشاف أثر صاعق على الأوساط العلمية لما اتصف به البوزيترون من سلوك غريب، إذ يكفي أن يلتقي الإلكترون ذو الشحنة السالبة بالبوزيترون ذي الشحنة الموجبة ليمحيا بعضهما بعضا. لقد كان اختراق الذرة ونواتها وتحطيم جدرانها وانطلاق كيانات عديدة فيها، يمثل قطائع معرفية ونظرية لتصور المادة النيوتوني الذي عجز عن تفسير نواة الذرة.

ولا يمكن أن نتصور قطيعة دون أن يكون هناك البديل للنموذج القديم، أو لعلم أو مفاهيم ما قبل القطيعة، وهذا ما فعله آينشتين الذي استبعد فرض الأثير ووضع مكانه المكان ذا الأبعاد الأربعة، حيث أضاف آينشتين الزمن بعدًا رابعًا مكافئًا للأبعاد الثلاثة الأخرى، أعني الطول والعرض والارتفاع، وذلك في معالجته لسرعة الضوء وحركته ونسبيته من إطار مرجعي إلى إطار مرجعي آخر، مما أدى إلى الجمع بين المكان والزمان في نظرية واحدة حيث تتداخل خصائصهما وتتشابك، والزمان والمكان هما القالب الذي صُب فيه هذا الوجود جملة وتفصيلاً، وانتظم بفضلهما على هيئة كوزموس **Cosmos**، أي كون منتظم، والكوزموس أو الكون، الذي تتعامل معه الفيزياء المعاصرة هو المادة، تتحرك عبر المكان خلال الزمان، ومن هنا فإن الزمان والمكان صلب عالم العلم.

لقد اتضح هذا التشابك والتداخل بين الزمان والمكان في نظرية النسبية لآينشتين، التي كانت تمثل ثورة في العلم، بكل ما تحمله كلمة ثورة من تجاوزات وتغيرات وقطائع في المفاهيم والتصورات والمناهج العلمية، وكذلك في الرؤى الأنطولوجية(الوجودية) للكون. فقد أخضع آينشتين مفهومي الزمان والمكان المطلقين اللذين قال بهما نيوتن، للنقد وأكد نسبيتهما، بالإضافة إلى تأكيده أن مفهوم الزمان لا ينفصل البتة عن مفهوم المكان أو الأبعاد المكانية الثلاث، بل هو متصل بها ويشكل البعد الرابع، ولكن اعتبار الزمان بعدًا رابعا مكافئا تقريبا للأبعاد المكانية الثلاث ربما يؤدي إلى مشكلة شديدة الصعوبة، فعندما نقيس الطول أو العرض أو الارتفاع، نستطيع في جميع الحالات أن نستخدم القدم أو البوصة، لذا كان علينا أن نستخدم في قياسنا للبعد الرابع وحدات تختلف كلية عن هذا، ولتكن الدقائق أو الساعات. إذن السؤال الذي يطرح نفسه، ما وجه المقارنة بين الزمان والمكان، أو بعبارة أخرى كيف نستطيع الجمع بين الزمان والمكان ونقيسهما؟ لقد أجاب عن هذا السؤال المعضل العالم الفيزيائي السوفيتي جورج جاموف قائلاً: "إذا تصورنا مكعبا رباعي الأبعاد تبلغ قياساته المكانية متر × متر × متر، فما المدة التي يلزم لهذا المكعب أن يمتد بها في المكان حتى تتساوى جميع الأبعاد؟ ثانية أم ساعة أم شهر؟ وهل الساعة الواحدة أطول أم أقصر من المتر الواحد؟" إذا أمعنا النظر في هذه التساؤلات فسنجد أنها تساؤلات منطقية، ووفقا لها يمكن تحويل المكان إلى زمان، ففي أحيان كثيرة ما نسمع أن شخصًا ما يسكن على بعد عشر دقائق بالأتوبيس من وسط المدينة، أو أن مكانا ما لا يبعد أكثر من خمس ساعات، ونحن نحدد المسافة هنا بالوقت اللازم لقطعها، باستخدام وسيلة انتقال معينة، لذا إن استطعنا الاتفاق على سرعة معيارية فسوف نتمكن من التعبير عن الفترات الزمنية بوحدات طولية، والتعبير عن وحدات طولية بفترات زمنية، لهذا ترى النظرية النسبية أن الزمان والمكان يرتبطان ارتباطًا وثيقًا ببعضهما بعضًا، وليسا كيانين منفصلين كما يدعي نيوتن، فهما يتسمان بتداخل خصائصهما وتشابكهما، فالزمان والمكان ليسا كيانين منفصلين يمكن أن نقارن بينهما، بل كيانًا واحدًا هو المتصل الزماني – المكاني أو الزمكاني **Spatio-Temporal Continuum**.

مع نهايات القرن العشرين، بدأ العلم يخطو خطوات ثورية وجذرية في اتجاه مجالات أخرى، غير تلك التي كانت تعالجها العلوم الفيزيائية أوائل القرن العشرين، من هذه الخطوات الثورية بزوغ النظرية الفوضوية في عالم الذرات، وبخاصة في الحركة الحرارية للجزيئات، حيث تتجه هذه الحركة نحو الخوض في ترتيب الجزيئات، وإلى الفوضى في اتجاه سرعاتها. لقد أصبحت النظرية الفوضوية في الفيزياء بمثابة الثورة الثالثة في تاريخ العلم بعد ثورتي الكوانتم والنسبية، ذلك أن هذه النظرية استبعدت وهم التنبؤ المحدد، وأثبتت الأبحاث المستجدة في الفيزياء المعاصرة، أن العلم يعمل في مجال أساسه عدم الانتظام والفوضى، وأن هذا يثير أكثر المشكلات إثارة وجدة، يقول جامز جليسك: إننا أمام علم جديد يسمى "الفوضى"، أو بالأحرى، أمام وسائل تمكننا من أن نفهم، بطريقة أفضل وفي إطار مختلف العلوم، الظواهر التي هي من التعقيد بالقدر الذي جعلنا نصفها بالفوضى. هذه الوسائل الجديدة قد غيرت نظرياتنا العلمية، وأحدثت قطيعة مع تصوراتنا التقليدية عن المادة التي تتألف من جسيمات صلبة كثيفة غير قابلة للاختراق أو الانقسام ليحل محلها مفهومًا آخر يتلاشى فيه، وإلى الأبد، المفهوم الكلاسيكي للمادة.

لقد شهد تاريخ العلوم الفيزيائية انهيار مفهوم المادة المتصل، الذي كان الأساس الذي استندت عليه الفيزياء الكلاسيكية، وتعد نظرية الكم أبرز النظريات العلمية المعاصرة التي عبرت عن انفصال المادة تعبيرًا دقيقًا، حيث استبدلت بآلة نيوتن المنضبطة خليطًا مبهمًا ملغزًا من الموجات والجسيمات، تلعب فيه القوانين الاحتمالية دورًا حاسمًا، باعتبارها بديلاً لقواعد السببية القاطعة. وتذهب نظرية، هي امتداد للنظرية الكمية، وهي النظرية المجالية الكمية **Quantum Field Theory** لما هو أبعد من ذلك، فترسم صورة تختفي منها المادة الصماء، وتصل هذه الأفكار إلى ذروتها فيما يسمى بنظرية "الأوتار الفائقة **Superstrings**"، التي

تهدف إلى توحيد المكان والزمان والمادة وغير ذلك من النظريات التي يأتي بها العلم، وكلها تؤكد شيئاً واحداً هو أن اتصال المادة في الفيزياء ذهب بلا رجعة وأن انفصالها الأساس الذي لا بد من أن تبنى عليه تصوراتنا في المادة. لهذا كانت نظرية الكم، هي النظرية التي أكدت هذه الطبيعة الانفصالية للمادة، فأصبح الأساس الذي يميز الفيزياء الكمية ابتعادها عن الطابع الملموس للمادة واهتمامها بالطابع المجهري لها، أي الذرة، بل يمكننا القول إن الفيزياء المعاصرة بأسرها، قد نزعت المادة من تصوراتها الملموسة، وأثبتت أن الذرة لديها القدرة على التحول من حالة إلى أخرى، هذا التحول لا يحدث عن طريق الاتصال؛ بل يحدث بطريقة منفصلة، فالذرة لا تستطيع أن تتحول من حالة إلى أخرى إلا بقفزات فجائية. استطاعت ميكانيكا الكم أن تخترق العالم الجديد للجسيمات المتناهية في الصغر، والأكثر من ذلك، أن الفيزيائيين استطاعوا، بالاعتماد على هذه النظرية، الوصول إلى إنجازات أعظم من كل تاريخ للبشرية، فكشفوا سر الطاقة النووية، وفتحت الأبصار على عوالم جديدة تماما كان الإنسان لا يدركها إلا بصورة غامضة. هذه العوالم هي عوالم الأشياء المفرطة في الصغر من ذرات ونوى الذرات والجسيمات الأولية.

لقد كان المأزق الذي واجه الفيزياء الكلاسيكية هو مبدأ اتصال الطاقة الذي كان شائعا لدى الفيزيائيين الكلاسيكيين ولا يقبل الشك. فقد كان الاعتقاد السائد هو أن الجزيئات تتبادل الطاقة عند اصطدامها مع بعضها بعضًا، وذلك بكميات مختلفة إلى حد كبير، ويتم تبادل هذه الطاقة بدقة وبموجب القوانين نفسها التي تجرى بواسطتها ضربات كرات لعبة البليارد، إذ يتحرك الجزيء فيصطدم بآخر ثابت، فيمنحه جزءًا من طاقته الحركية، وبعد ذلك يتحرك الجزيئان في اتجاهين مختلفين. وعندما يصطدما، بصورة مستقيمة ومباشرة، فإن الجزيء المتحرك قد يتوقف عن الحركة بينما يكتسب الجزيء الثاني سرعته الحركية، وهكذا تتبادل الجزيئات الطاقة باستمرار. تصورت الفيزياء الكلاسيكية العالم مكونًا من مادة وإشعاع،

فالمادة تتكون من ذرات والإشعاع من موجات، أما نظرية ماكس بلانك فلجأت إلى تصور الإشعاع في صورة ذرية، فافترضت أن الإشعاع لا ينطلق من المادة، على شكل تيار متصل، بل هو أشبه بطلقات من الرصاص تنطلق من مدفع رشاش، فالإشعاع ينطلق على هيئة مقادير منفصلة، أطلق عليها ماكس بلانك اسم الكمات **Quanta**. ومن الناحية التاريخية ظهر أول دليل على فشل النظريات الكلاسيكية حول المادة والإشعاع، من دراسة ظاهرة إشعاع الجسم الأسود **Black body radiations** التي انصبت الدراسة فيها على ديناميكية تبادل الطاقة بين الإشعاع والمادة كلاسيكيا. فقد افترض أن هذا التبادل يتم بصورة متصلة، بمعنى أن أي إشعاع، بتردد ما، يمكن أن يعطي أي مقدار من الطاقة عند الامتصاص، هذا المقدار يعتمد بالتحديد على شدة الطاقة في الإشعاع. أظهر بلانك إمكانية الحصول على معادلة ديناميكية صحيحة لوصف إشعاع الجسم الأسود، وذلك، فقط، على فرض أن تبادل الطاقة بين المادة والإشعاع يتم بصورة منفصلة، وكان نتيجة هذا، أنه لا يمكن أن تأخذ طاقة الجسيمات المجهرية والذرات والجزيئات قيمًا متصلة بل منفصلة. ويمكن أن نأخذ مشكلة الضوء مثلا على هذا التحول من الاتصال المعبر عنه من قبل الفيزياء الكلاسيكية، إلى الانفصال الذي أصبح المقولة الأساسية للفيزياء المعاصرة.

فقد زعمت الفيزياء الكلاسيكية في تفسيرها لظاهرة الضوء أن الضوء عبارة عن حبات تنتقل في الفراغ، وهو القول الذي قال به نيوتن، حتى يتلاءم مع الحدس الأساسي لفيزيائه، أعني التفسير الميكانيكي؛ لهذا يتبنى نيوتن، النظرية الجسيمية **Corpuscular Theory** في تفسير الضوء. فانتشار الضوء، حسب هذه النظرية الجسيمية، يتم على هيئة خطوط مستقيمة متصلة هي الأشعة الضوئية، التي تشكل مسارات لتلك الجزيئات، وسرعة هذه الجزيئات في الفراغ، هي ما يعبر عنه بسرعة الضوء. وعلى الرغم من وجود نظرية أخرى، كانت تتناقض مع النظرية الجسيمية

في تفسير انتشار الضوء، أعني النظرية الموجية Undulatory Theory، والتي دافع عنها الفيزيائي كريستيان هياجنز. حيث تقول هذه النظرية بأن الضوء لا يتحرك على هيئة خطوط مستقيمة، كما تدعي النظرية الجسيمية، بل الضوء عبارة عن موجات Waves. على الرغم من هذا، فإن النظرية الموجية كانت تقول أيضا باتصال الضوء وانتشاره وذلك لوجود الأثير الذي يحمل تلك الموجات الضوئية. إذن، هناك نظريتان متناقضتان في تفسير ظاهرة الضوء وانتشاره، ولكن النتيجة أن هاتين النظريتين كانتا تفسران ظاهرة الضوء وفقا لمقولة الاتصال. ولكن بظهور ظواهر ضوئية مستجدة على ساحة البحث العلمي، مثل تداخل الضوء وانفراجه واستقطابه وغير ذلك من الظواهر الضوئية الأخرى، عجزت النظريتان: الجسيمية والموجية، على تفسيرها، مما أدى إلى ظهور نظريات فيزيائية معاصرة تقوم بتفسير الضوء تفسيرا مغايرًا للتفسير الاتصالي له، فنظرية الكم، على سبيل المثال، تنظر إلى الطاقة بكل أشكالها، أعني الحرارة والحركة والضوء والكهرباء، على أنها تتم بشكل منفصل، فالضوء لا يمكن أن ينظر إليه على أنه شعاع مكون من جسيمات أو موجات متصلة، بل هو في الأساس عبارة عن كمات منفصلة، تخرج على هيئة فوتونات، هذه الفوتونات عبارة عن كمات الطاقة الضوئية، التي حين تصطدم بالإلكترون تؤدي إلى حدوث الضوء.

بدأ العقل العلمي في مطلع القرن العشرين يعيد النظر في النظريات والمناهج العلمية التي سعي بعض العلماء والفلاسفة إلى تبريرها والبقاء عليها بحجة أنها نظريات ومناهج صادقة وموضوعية، وأن نتائجها تصل إلى حد اليقين المطلق. تخلي هذا العقل تدريجيا عن قدر كبير من تلك التصورات والنظريات والمناهج، فأصبح أكثر مرونة من ذي قبل، وتفجرت إشكاليات معرفية ومنهجية جديدة عبرت عن مرحلة جديدة في مسيرة العلم التقديمية. إن رفض الطبيعة المحافظة للعقل العلمي التى اتسم بها في مرحلة العلم الكلاسيكية، تلك الطبيعة التي

تنحو نحو الثبات والسكون والبقاء على الوضع القائم في العلم، هو الذي أدي إلـــى الثورات والإنجازات العلمية في مجالات العلم المختلفـــة، ولعـــل عـــالم الفيزيـــاء الألماني فيرنر هايزنبرج الحاصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٣٢، أحـــد أبرز تلك العقول العلمية التي ساهمت في التحولات والثورات العلمية التي شـــهدها القرن العشرون بنصيب كبير، ليس هذا فحسب بل ساهم أيضا في تـــشكيل رؤيـــة العديد من فلاسفة العلم المعاصرين الإبستمولوجية والميثودولوجية، حيـــث تكـــشف كتاباته وأبحاثة العلمية عن أواصر القربي بين العلم والفلسفة، وأن التقدم العلمي لا يأتي في نظره، إلا من خلال الحوار بين الواقع والفكر، بين العلماء والفلاسفة. لذا كان الإسهام المعرفي(الإبستمولوجي) الذي قدمه هايزنبرج في كتابه، الذي نقـــدم ترجمته العربية عبر المشروع القومي للترجمة والذي يضطلع بعبئه المركز القومي للترجمة الذي قدم، وما زال، للقارئ العربي ترجمات أثرت المكتبة العربيـــة، هـــو المضامين الفلسفية، المعرفية والمنهجية، القابعة خلف النظريات الفيزيائيـــة، أو إذا شئنا الدقة، قلنا إن هايزنبرج قدم فلسفة للعلم الفيزيائي ترشد الإنسان/الباحث إلـــى طريقة جديدة في التفكير يعيد من خلالها علاقته بذاته من جهة وبالعالم المحيط بـــه من جهة أخري. ومن ثم كان فهم هذا الكتاب، على النحو الذي أراده هـــايزنبرج، يتطلب شقين رئيسيين: الأول، أن يكون القارئ ملما بالتطورات التي حـــدثت فـــي العلم الحديث، حيث كانت الفيزياء تمثل النموذج القياسي الإرشـــادي لهـــذا العلـــم، والثاني، أن يكون ملما بالفلسفات، قديمها وحديثها، التي صاغت نظريات معرفيـــة ومنهجية باعتبارها تعبيرًا عن تطورات العلم وتقدمه المتسارع.

أراد هايزنبرج أن يرسل عدة رسائل إلى قرائه من خلال فلسفته في العلـــم، أولى تلك الرسائل أن المعرفة العلمية الصحيحة لا تستمد من المعطيات التجريبيـــة المباشرة، بل من التأمل الفكري أو من الفروض العقلية، أكد هايزنبرج مكانة العقل وموقعه داخل منظومة العلم ذاته، فضلا عن أن الفرض العلمي لا يمكن أن يستمد من التجربة، كما كان شائعا في فلسفة العلم التقليدية، وإنما هو من ابتكـــار العقـــل

الحر، وهذا ما يجعله عرضة للتغيرات والتبدلات الدائمة والمستمرة في ظل تقدم ونمو المعرفة العلمية. أما الرسالة الثانية التي أراد هايزنبرج تأكيدها أن العلم وسيلة للتفاهم بين الشعوب وجعْلها تتواصل فيما بينها، ذلك أن العلم يتخذ طابعا عالميا، كونه قادرا على حل المشكلات التي تواجه الإنسان على اختلاف لغته وجنسه ومعتقده الديني، ويذكر هايزنبرج أنه تعلم درسا مستفادا من نيلز بور عندما كان يناقش هذا الأخير في التركيب الذري، فقد أكد بور أن فهم التركيب الذري لا يرتبط كون هذا العالم ألمانيا أو دانمركيا أو إنجليزيا أو حتى عربيا، فضلا عن أن صحة نظرية علمية ما أو خطأها لا يرتبط بأصل العالم/ الإنسان أو نوعه أو جنسه أو ديانته. وعلى الرغم من أن رسالة العلم هي خدمة البشرية أو خدمة الصالح العام؛ فإن القوي السياسية تتدخل في أحيان كثيرة لإقصاء العلم عن تحقيق هذه الرسالة لمصالح قوي سياسية واقتصادية معينة، فينشأ الصراع بين العلم، الذي يؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر في حياة الشعوب، من خلال تطبيقاته، وبين القوي السياسية التي تسعي إلى تحقيق مصالح سياسية واقتصادية عن طريق التأثير في الجماهير الغفيرة من الشعب عبر وسائل الإعلام أو بفرض نظرية علمية ما تخدم مصالحهم السياسية، وبخاصة في مجال الفيزياء، وليس أدل على ذلك من المضامين السياسية للفيزياء الذرية، فصناعة الأسلحة الذرية قد غيرت من النظرية السياسية في العالم ككل، بل تغيرت مفاهيم سياسية عديدة منها مفهوم الشعب أو الدولة، فالدولة التي لا تملك، على سبيل المثال، أسلحة ذرية أو تقنية هذه الأسلحة، يجب أن تعتمد بشكل كبير على عدد الدول القليل الذي يملك تقنية صناعة هذه الأسلحة. كما ينبهنا هايزنبرج إلى خطورة استخدام الأسلحة الذرية في الحروب، لأن استخدامها يعد نوعا من الانتحار، وقد تلجأ إلى استخدامها دول ما باعتبارها نوعًا من التهديد لدول أخري حتى ترضخ لأجندتها السياسية وإيديولوجيتها المغرضة. هنا نأتي إلى الرسالة الثالثة التي وجهها هايزنبرج إلى العالم قاطبة أعني المسؤولية الأخلاقية لعلماء الفيزياء، حيث لا يمكن أن نغفل دورهم الفعال والمؤثر في إدارة بلدانهم، عندما يواجهون مسؤولية اتخاذ قرارات

لها وزنها وانعكاساتها على المجتمع ككل، وليس على مجتمع العلماء فحسب. ومن ثم يصبح العلماء مسؤولين عن أي قرارات خاطئة من شأنها أن تؤثر بالسلب على مجتمعاتهم. لقد لخص هايزنبرج المسؤوليات الواقعة على عاتق العلماء في:

١-ضرورة إعلام الحكومات بخطورة استخدام الأسلحة الذرية في الحروب.

٢- ضرورة تشجيع التعاون الدولي والعمل المشترك بين العلماء والدول في مجالات البحث المشتركة في الفيزياء النووية، الأمر الذي من شأنه أن يكون هناك بحثًا مشتركًا في مشاكل العلم.

٣- ضرروة تدعيم العلماء لفكرة السلام العالمي.

ومن ثم دعا هايزنبرج إلى ضوروة نشر ثقافة التسامح بحيث تسود بين الشعوب والدول، والعلم أجدر من يقوم بهذه المهمة. ويتذكر هايزنبرج هذا التاريخ الأسود لعدم التسامح مع الأفكار والمفاهيم والتصورات التي كانت، آنذاك، تبدو متناقضة مع الإيديولوجيا السائدة، أعني ما حدث لجيردانو برونو وجاليليو. أما في العصر الحديث فإن عدم التسامح هذا يتخذ شكلا آخر، يكمن في التطبيقات التقنية للعلم، أو الآثار التطبيقية للعلم، التي من شأنها أن تؤثر على مصير الملايين من البشر، أعني مصادر الطاقة التي سيطرت عليها الفيزياء.

نخلص إلى نتيجة طالما رددها هايزنبرج مرارا وتكرارا، وهي أن مهمة العلم، وبخاصة الفيزياء، هي تنبيه الشعوب إلى المخاطر التي تواجه البشرية في الحاضر والتي ربما تواجهه مستقبلا، وضرورة تكاتف جهود البشرية قاطبة لمواجهة أي خطر من الممكن أن يهدد البشرية أو الصالح العام.

خالد قطب

مقدمة

نشأت ميكانيكا الكم منذ أكثر من ثمانين عامًا، وأصبحت جزءًا جوهريًا وأساسيا لا غنى عنه من ذخيرة عالم الفيزياء النظرية. فضلا عن الكم الهائل من الكتب الدراسية التي تأخذ على عاتقها تدريس هذه النظرية بطرق قياسية، وتوضح صراحة كيفية توظيف منهاجها. تعزز مبادئ ميكانيكا الكم عمل الليزر والأجهزة الإلكترونية، كما نجدها اليوم في مجالات لم تكن مألوفة لنا مثل مشغل أقراص الفيديو الرقمية (DVD) وآلات الدفع النقدي في الأسواق. كما إن الطبيب الذي يجري فحوصات لأعضاء داخلية لمريض ما، للكشف عن الخلايا الحميدة والخبيثة، والتي تتم عبر تصوير الرنين المغناطيسي، تعتمد على خاصية الكم للنواة الذرية. كما قدمت التفسيرات الميكانيكية للكم تنبؤات دقيقة فيما يتعلق بخصائص الجسيم الأولي التي تتوافق مع القياسات التجريبية ذات الدقة العالية. بعبارة أخرى، تم اختبار هذه النظرية بطريقة دقيقة، بحيث يمكن الاعتماد عليها على نحو نافع ومفيد للغاية.

وعلى الرغم من كل هذه الألفة التي تتمتع بها هذه النظرية، بالنسبة لمعظم علماء الفيزياء؛ فإنه إذا مارسنا الضغط على هؤلاء، سيعترفون أن ثمة شيئًا غريبًا وغامضًا لا يمكن استيعابه إلى حد بعيد في ميكانيكا الكم. فالتشغيل الداخلي للآلة يبقى محيرًا. يبقى أن نعرف أن هذه المقالات الواردة في هذا المجلد، مستمدة من محاضرات جيفورد(*) التي ألقاها فيرنر هايزنبرج في جامعة أندرو بإسكتلاندا منذ نصف قرن مضى، وهي تدور حول القضايا نفسها التي ما زالت تمثل لغزًا محيرًا حتى يومنا هذا. لكن يظل الحل الذي يقدمه هايزنبرج،

(*) محاضرات جيفورد **Gifford lectures** هي سلسلة من المحاضرات التي أوصى بها اللورد آدم جيفورد عضو مجلس كلية القانون الذي توفي في عام ١٨٨٦م. حيث تبرع بثروته إلى عدد من الجامعات الإسكتلندية لنشر اللاهوت الطبيعي.(المترجم)

أو بالأحرى الاتجاه الفلسفي الذي ينصح به، مفيدًا للبعض، ومثيرًا للجدل للبعض الآخر، وموضع تسليم من قبل مريديه.

لكي نفهم السبب الذي يجعل ميكانيكا الكم تثير مثل هذه الحيرة، علينا أن ننشغل بأصولها على نحو مختصر. فقد قدم هايزنبرج في هذه القصة استبصارين حاسمين.

الأول، وهو ما بات يعرف باسم نظرية الكم القديمة التي يرجع منشأها إلى نيلز بور **Niels Bohr** عام ١٩١٣، حيث تم تصوير الذرات باعتبارها أنظمة شمسية صغيرة. تدور الإلكترونات بدقة حول نواة صغيرة وضخمة، وفقا لمبادئ الميكانيكا النيوتونية. جاء مبدأ الكم ببعض القيود الإضافية على هذا النموذج، حيث حدد مدارات بعينها والتي كانت، في حقيقة الأمر، مُجازة خارج أي نطاق مطلق ممكن. عندما يقفز الإلكترون بين المدارات فإن الذرة إما أن تستوعب كمًا من الطاقة الكهرومغناطيسية، وإما أن ينتج عنها هذا الكم بحيث نجد تناظرا في الطاقة المختلفة بين المدارات – وهو ما عرف في وقت لاحق بالفوتون. لقد تم تفسير هذه الآلية المتعلقة بالسبب الذي يجعل الذرات، كما كان معروفًا منذ عقود، لديها هذه البصمات الطيفية المميزة التي ينبعث عنها الضوء، وتمتصه عند ترددات معينة ثابتة. تطورت نظرية الكم القديمة في أوائل العشرينيات بفضل جهود أرنولد سومرفيلد **Arnold Sommerfeld** في ميونخ، حيث أصبحت هذه النظرية أكثر تفاصيلاً وصعوبة، وفي الوقت ذاته فشلت في تفسير العديد من الأطياف الذرية. لقد بدا من الممكن أن تنتقل الإلكترونات في الذرات المتحركة، وفقا لقواعد تختلف جوهريا عن الميكانيكا الكلاسيكية. كان فيرنر هايزنبرج طالبًا في المرحلة الجامعية الأولي مع سومرفيلد في ميونخ، جاء بنفسه ليتعرف على هذه الأزمة، حيث قدم في عام ١٩٢٥ حلا غريبًا ومذهلاً، يقول: " إن الفكرة المطروحة بذاتها هي أننا لا الإلكترونات، بل على أنها معادلات لترددات وسعات مفكوك فورييه" **Fourier Expansion**(*).

(*) جوزيف فورييه **Joseph Fourier** (١٧٦٨- ١٨٣٠) عالم رياضيات وفيزيائي فرنسي، اشتهر بوضع قانون للتوصيل الحراري، ووضع متسلسلة رياضية. والتي تنص على أنه يمكن التعبير عن أية دالة دورية وحيدة القيمة، باعتبارها مجموعًا لمركبات من دوال جيبية تكون تردداتها مضاعفات لتردد الدالة الأصلية. هذا المجموع يسمى متسلسلة فورييه. (المترجم)

هذه العبارة المتواضعة بها قليل من التضخيم. ففكرة هايزنبرج، التي يشير إليها تبدو واضحة له وحده. تماما كما عند آينشتين في النسبية المعدلة عندما أعاد تعريف ما نعنيه بالمكان والزمان، لهذا أُجبر هايزنبرج في عام ١٩٢٥ على إعادة تقييم مماثل لمفاهيم واضحة بذاتها حتى الآن مثل مفهومي الموضع والسرعة.

إن متسلسلة فورييه تمثل الآلة الرياضية القياسية التي يمكن تمثلها، كما هو الحال في تذبذب وتر الكمان، على أنها مجموعة ملائمة من النغمات الأولية للأوتار. يتم التعبير لحظيا في مثل هذا التمثيل عن موضع وسرعة أي نقطة على طول الوتر من حيث مجموع أوزان الأوتار الأساسية والنغمات التوافقية. كان العمل الفذ لهايزنبرج تطبيق نفس هذا المنطق على حركة الإلكترونات في الذرات. فبدلاً من التفكير في موضع الإلكترون وسرعته باعتبارهما سمات أولية وواضحة، وضع تعبيرات تمثل الموضع والسرعة بطريق غير مباشر، باعتبارها مركبات من ترددات أولية للذرة، وهذه هي سمات الترددات الطيفية. كان الإقدام على هذا الشيء يبدو غريبا لأول وهلة، فقد استبدل تعريفاته الجديدة عن الموضع والسرعة بقوانين ميكانيكية قياسية، وهذا ما جعل هايزنبرج يستخلص اكتشافا مذهلا، جديدًا تماما، هو قانون التكميم. حيث تقدم معادلاته إجابات معقولة، فقط إذا ما تم أخذ طاقة الإلكترون على أن لها مجموعة محددة من القيم. كان هايزنبرج من التواضع الجم أن يقول بشكل مباشر إنه اكتشف في هذه المقالات أصل ميكانيكا الكم. ومما هو جدير بالملاحظة، كما أثبت فيما بعد كل من ديراك **Paul Dirac** وباسكوال جوردان **Pascual Jorda**، أن قوانين الميكانيكا الكلاسيكية التي تم إجازتها دون تغيير تمامًا كانت كمات – وكانت العناصر الأساسية للميكانيكا مثل موضع الجسم والسرعة – على ما يبدو، محكوم بتلك القوانين. من هنا تبدأ المشكلة، فقد ذهب هايزنبرج بعد عامين من احتفائه بمبدأ اللايقين، في إثبات أن الموضع والسرعة ليسا واضحين المعالم في ميكانيكا الكم، في حين يتمتعان بمعنى جلي في الميكانيكا الكلاسيكية. فبدلاً

من الخصائص الأساسية للجسيم والموضع والسرعة تصبح خصائص ثانوية يستنبط منها المجرب نظاما كميا ما من خلال نظام قياس مناسب. هذا القياس ليس عملاً بسيطا كما كان عليه من قبل. لذا من الأفضل لنا أن نقيس موضع الجسيم، لكن نادرًا ما يمكنك معرفة سرعته والعكس صحيح: كثيرًا ما يتم التعبير عن مبدأ اللايقين بهذه الألفاظ، ومع ذلك فإن العبارة الأكثر دقة أن جسيمات الكم ليس لديها خصائص جوهرية تتطابق بدقة مع الموضع والسرعة، وأن قوى القياس لنظام الكم تدفع بقيم لهذه الكميات بالطريقة التي يتوقف عليها القياس الذي تم إنجازه.

حتى لو اعتقدنا، في حقيقة الأمر، أنه قد تم خداعنا بمفهوم جسيم الكم، لأن المفهوم الذي يسمى "جسيم" له دلالات لم تعد تنطبق عليه تماما. بعد صياغة هايزنبرج لميكانيكا الكم بأشهر قليلة، جاء إروين شرودنجر **Erwin Schrödinger** بمعادلة تحمل اسمه، والتي تقدم صورة مختلفة. فالإلكترون في صورة شرودنجر ينتمي إلى الذرة، حيث يأخذ شكل موجة منفصلة – موجة ثابتة – موجة تمثل احتمالية، تقريبا كما نقول، إنه تم العثور على الإكترون في هذا المكان أو حول النواة.

هل الإلكترون موجة أم جسيم؟ الإجابة كما يلح هايزنبرج في هذه المقالات بشدة، هي أن كلمات من قبيل "موجة" و"جسيم"، قد تم صياغتهما في الميكانيكا الكلاسيكية من خلال اشتقاق هاتين الكلمتين من تجربتنا اليومية، وعبر تعريف يقتصر على تبادلهما. بيد أن الموجة لا يمكن أن تكون جسيم، والجسيم لا يمكن أن يكون موجة. إن موضوع الكم، في حد ذاته، ليس هذا الشيء أو ذاك، فإذا ما قررت قياس خاصية موجة مثل (طول الموجة في تجربة الحيود أو التداخل)؛ فإن الشيء الذي تلاحظه سيبدو مثل الموجة، وكذلك عند قياس خاصية الجسيم (الموضع والسرعة) فإن ما نلاحظه يشبه سلوك الجسيم من جهة أخرى.

أعلن هايزنبرج عند قبوله لجائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٣٢ "أن ميكانيكا الكم...قد نشأت...من التوسع فى مبدأ التناظر عند بور، وتأكيده لمنهج رياضي متكامل". هذا يمثل أيضا تواضعا مفرطا، رغم أن مبدأ التناظر لبور كان بمثابة الموجه لهايزنبرج، فقد يبدو أنه قبل الفكرة، والحديث هنا فضفاضا، حيث يجب على نسق الكم أن يتغاضى عن السلوك الكلاسيكي الذي يظهر للعين المجردة. إن شرارة هذه الأصالة التي كانت خالصة من قبل هايزنبرج، هي التي قادت إلى ميكانيكا الكم. عمل كل من هايزنبرج وبور معًا عن كثب في كوبنهاجن أواخر عام ١٩٢٦ وأوائل عام ١٩٢٧، وقد نتج عن هذا التبادل المكثف مبدأ اللايقين، والذي يسمى بتفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكم الذي روج له بور كثيرا فيما بعد. لم يوافق هايزنبرج على وجهات نظر بور سريعا، إلا إنه بحلول وقت محاضرته لنوبل، وبالتأكيد عندما أعطى سلسلة محاضراته في معسكر كوبنهاجن، كان صادقا عندما أعلن أنه مدين لبور بالكثير من المبادئ التي يعتنقها. إن صلب المشكلة، كما يقول هايزنبرج مرارا وتكرارا، هي مشكلة الترجمة، حيث يتم صياغة اللغة الاصطلاحية للفيزياء وفقا للعالم الذي ندركه بالخبرة، عالم السيارات ولعبة البيسبول الطائر، والسرعات المسموح بها، والتي لها، في أي لحظة، مواضع محددة، في حين يتم وصف صورة الموجات، باعتبارها فئة متميزة من الكيانات، بمصطلحات مختلفة تماما. ومع ذلك، يندرج تحت كل هذا عالم ظواهر الكم، التي تنقل العالم المدرك لنا من خلال عدد لا يحصى من أعمال القياس والملاحظة. بطبيعة الحال، نحن قادرون على تقديم وصف أفضل لعالم الكم بلغتنا الكلاسيكية المألوفة، ولكن هذا بالضبط ما يؤدي إلى ظهور هذه الصعوبة. إن عالم الكم ليس عالما من الموجات والجسيمات، من المواضع والسرعات. فعندما نقوم بإجراء قياسات لتلك الكمات نجريها بمعانيها المألوفة، هذا المعنى، الذى يخضع للقيود التي أعرب عنها هايزنبرج في مبدأ اللايقين. إن أية محاولة لوصف عالم الكم بلغة كلاسيكية كفيل بأن يصطدم بالتضارب والتناقض.

يخبرنا هايزنبرج، من خلال تأكيده هنا على عدم كفاية الصورة الموجية والجسيمية، أن اللعب بهاتين الصورتين من خلال الانتقال من صورة إلى أخرى يجعلنا نصل، في نهاية المطاف، إلى انطباع صحيح لنوع غريب من الواقع يكمن خلف تجاربنا الذرية. ولكن كل ما أخشاه، أن هذا سيصيب العديد من القراء الواقعيين بقليل من المراوغة، هذا الشيء جيد للغاية، أستاذ هايزنبرج، ربما يقول هؤلاء القراء هل يمكن أن توضح لنا ما هي مكونات هذا الواقع الغريب؟ للأسف، لا نقدر في النهاية على الأقل عمل شيء مرضي.

إن استراتيجية كوبناهجن في التعامل مع هذا المأذق هو الاستمرار في استخدام اللغة القديمة - الموجات والجسيمات، المواضع والسرعات - ولكن على أن يكون هذا مفهوما تماما بأن هذه المفاهيم الواردة في هذه الكلمات لم تعد أولية بل جاءت إلينا عبر قوة الملاحظة والقياس، وهذا يؤدي إلى فكرة أكثر شيوعًا وهي أن قانون القياس في ميكانيكا الكم يحدد الشيء المقاس، أو أن الشيء المقاس وفعل القياس يتشابكان بحيث لا يمكن الفصل بينهما.

قد تبدو معرفتنا بالعالم، باعتبارها نتيجة طبيعية، معرفة ذاتية ليس بالمعنى الكلاسيكي، فالحصول على معلومات مختلفة يتوقف على نوعية القياسات التي نتخذها، بحيث يكون لنا مطلق الحرية أن نختار مجموعة بعينها من القياسات وليس مجموعة أخرى، فهل ينبغي لنا أن نستنتج، كما قال جريدجرايند(*) في رواية تشارلس دكينز أن عالم الوقائع قد تلاشي؟ يبدو أن العالم يظهر لنا، بطريقة ما، وفقا للطريقة التي نختار أن نرى العالم من خلالها.

(*) جريدجرايند **Gradgrind** أحد شخصيات الروائي الإنجليزي الشهير تشارلس دكينز في رائعته " أوقات عصيبة"، حيث مثل دور الأب الذي يعامل أبناءه معاملة فجة مما أوقعهم في مشكلات اجتماعية عديدة. (المترجم)

يقف هايزنبرج بشدة ضد أي تدخل من هذا القبيل، فكما يقــول، إن القيـــاس عمل محدد وملموس، يخضع إلى جزء محدد من المعلومات. فهناك دائما حقيقة أن العالم يكشف لنا عن طريق العلم اعتماده على نوع من المعلومات التي في مقدورنا اكتشافها. علينا أن نتذكر ، كما يقول هايزنبرج: "أن ما نلاحظه ليست الطبيعة ذاتها، بل الطبيعة التي تتكشف وفق طريقتنا في الاستجواب". قد يشعر القارئ هنا مـــرة أخرى بعدم الارتياح، ذلك لأن الإجابة ليست كافية تمامـــا، فمـــن وجهـــة النظـــر الكلاسيكية، فإن العالم المفترض عبارة عن مجموعة من الوقائع. إن مـــا نلاحظـــه بشكل أكثر دقة، هو تلك الوقائع التي في مقـــدورنا جمعهـــا. فـــرغم أن المـــشكلة المستجدة والغريبة في ميكانيكا الكم هي أن معرفة جانب واحد من الحقيقـــة عـــن العالم غالبا ما يحول دون معرفتنا بالجانب الآخر منها، فهل هناك إذن، أساس متين لعالم المعطيات الموضوعية والمعلومات المقاسة التي تبدو قائمة؟

كانت إجابة كوبنهاجن هي التشديد على أن طرح مثل هذا السؤال يعد فـــي جوهره سؤالا عن التفسير الكلاسيكي لعالم الكم، والذي بحكـــم تعريفـــه لا يمكـــن الاضطلاع به، لكن هذا لا يخبرنا كيف ينبغي أن نفكر في شيء بديل. يكون هـــذا عبر معالجة هذه المعضلة - كيف يمكننا بداية أن نصف هذه الحالة ونحن لا نملك اللغة القادرة على القيام بذلك؟ - قام هايزنبرج بجولة فلسفية تبـــدأ مـــن الإغريـــق وصولا إلى كانط **Kant**. كان هايزنبرج قادرا على إنجاز هذه العمل، عكس معظم علماء الفيزياء الحديثة الذين ترفعوا عن هذا العمـــل وتجـــاهلوا ببـــساطة التفكيـــر الفلسفي فيما يتعلق بهذا الموضوع، إلا إن تعليم هايزنبرج في ألمانيا بدايـــة القـــرن العشرين، ووجود والده أستاذ الكلاسيكيات، أصبح معقـــولا أن يكـــون هـــايزنبرج ضليعا في الفلسفة باعتبارها جانبا من جوانب التعليم العام الجيد.

شدد هايزنبرج على الأهمية الكبيرة لثنائية ديكارت **Descartes** بين العقـــل والمادة، والتي تمثل جوهر العقيدة الكلاسيكية فيما يتعلق بـــالواقع الموضـــوعي..

العالم المادي. هذا الوجود المستقل المنتظر لتدقيقاتنا النزيهة. هذا الغرور ربما كان الأساس الذي أدى إلى نشأة الفيزياء الكلاسيكية، ولكن لا ينبغي أن نعتبر أن هذا التفسير لم يكن موضع شك أو كان يمثل حقيقة واضحة بذاتها، فعلى سبيل المثال، يفترض تصور أرسطو **Aristotle** أن المادة الملموسة تتشكل "بالقوة" وهو نوع من الجوهر الكوني الذى يضم إمكانية أكثر من كونه واقع فعلي. لم يرغب هايزنبرج، بأي حال من الأحوال، في إفتراض أن أرسطو قد سبق بطريقة ما الدالة الموجية لشرودنجر. لقد قام بعمل شيء مفيد وهو أن مفاهيمنا عن الواقع والمادة كانت واضحة على الرغم من كونها لا تبدو دائما كذلك. فقد جاءت من خلال الصراع الفكري العميق.

وإذا كانت مثل هذه المفاهيم قد تغيرت في الماضي، فإنها بالتأكيد يمكن أن تتغير مرة أخرى، ذلك لأن تقديم دليل على مجموعة من الأفكار والمبادئ قد يكون مفيدا في مجال ما، كما يحذرنا هايزنبرج، أنه لا ينبغى لهذه الأفكار والمبادئ أن تغرينا بأن نعتقد أن لدينا حقائق يمكن تطبيقها في أي مكان.

تقدم النسبية مثالا أقل إثارة للجدل فيما يتعلق بهذا المبدأ، فقد أثبت إلبرت أينشتين **Albert Einstein** أن المكان والزمان ليسا مطلقين، كما كانا في الكون النيوتوني، وأن التزامن لا يكون إلا في عين الملاحظ. كان تقويض وجهة نظر "الحس المشترك" القديمة أكبر من أن يتحملها بعض علماء الفيزياء في القرن العشرين، لذا تعرضت النسبية لهجوم ضاري، لكن سرعان ما مرت هذه الأزمة بسلام. إن التغيرات التي طالبت بها النسبية لم تكن دراماتيكية وغير مستساغة كما تبدو لأول وهلة، لا سيما أن النسبية لم تنكر صحة "الواقعية الجامدة" كما يطلق عليها هايزنبرج، قد يرى، اثنان من الملاحظين، مثلا، بعض الوقائع بترتيب مختلف، إلا أنه لا يمكن إنكار أن الوقائع قد حدثت بالفعل، وأن النقطة الرئيسية في النسبية هي على وجه التحديد، إثبات، بطريقة عقلانية تساعد الملاحظين على فهم، لماذا لا يرى الاثنين هذا التسلسل الزمني ذاته.

على النقيض من ذلك، تم تقويض الافتراضات الكلاسيكية مع ميكانيكا الكم، بيد أنه لم يتم تقديم أي تفسير مرضٍ بدلاً منها، ومن ثم تم مراجعة هذه الوجهة من النظر، حيث يمكن اعتبار تفسير كوبنهاجن هو أفضل نسق ملائم يسمح للفيزيـــائي أن يتعامل مع النظرية بطريقة عملية، بينما يفرض طوقًا أمنيا حول أسئلة محـــددة غير قابلة للإجابة عنها بشكل جوهري، ليس هذا بمستغرب، فقـــد أظهـــرت هـــذه الإستراتيجية مقاومة، فمناقشة هايزنبرج لانتقادات تفسير كوبنهاجن هـــو الفـــصل الأكثر قدما هنا، لأن الكثير من الانتقادات قد تلاشت منذ فترة طويلة، إلا إن ثمـــة فكرتين وجيهتين ظلتا باقيتين.

في أوائل الخمسينيات، منذ وقـــت قـــصير مـــن إلقـــاء هـــايزنبرج هـــذه المحاضرات، جاء ديفيد بوم **David Bohm** لإعادة صياغة ميكانيكا الكم بطريقـــة تؤيد، كما يزعم، الفلسفة الاصطلاحية التي ظلت باقية علـــى نجاحهـــا التجريبـــي، فخصائص الجسيمات، وفقا لبوم، تشتمل على "متغيرات مخبأة" يتعـــذر الوصـــول إليها من قبل الملاحظ، هذه المتغيرات هي التي تحدد نتـــائج القياســـات. إن عـــدم القدرة على التنبوء بأحداث الكم ينشأ إذن من جهلنا بالمتغيرات المخبـــأة. بـــشكل ظاهري، فإن هذا يجعل ميكانيكا الكم تشبه كثيرا الميكانيكا الكلاسيكية، بخاصة فيما يتعلق بذرات الغاز، حيث يمكننا تقديم تنبؤات إحصائية عن سلوك الغاز ككل، على الرغم من عدم قدرتنا على معرفة ما الذي تقوم به ذرة فردية ما، إلا إن ثمة فرقًـــا كبيرًا من الناحية النظرية، حيث يمكننا التفكير في إجراء تجـــارب عبقريـــة فـــي الميكانيكا الكلاسيكية، أكثر من أي وقت مضى، كي نتعرف بدقة على خـــصائص الذرات، أما في ميكانيكا ديفيد بوم، التي ما زالت تجتذب زمرة جادة من المؤيدين، فإن المعلومات تحمل متغيرات مخبأة يتم حصرها بشكل دقيق، حقيقـــة يجـــب أن تكون كذلك، إذا كانت المظاهر الخارجية لميكانيكا الكم تظل بلا تغيير.

يقدم هايزنرج مجموعة مختلفة من الأسباب المقنعة التي تفسر لماذا لا تعد ميكانيكا ديفيد بوم جذابة كما تبدو، بيد أن اتجاهه الأساسي هو استثمار نهج المتغيرات المخبأة، وذلك بالرجوع الجزئي والمراوغ للواقعية الكلاسيكية على حساب تقويض التناسق والأناقة الرياضية الكبيرة لميكانيكا الكم في صورتها الخالصة، إن ميكانيكا ديفيد بوم، في كلمة واحدة، مزعجة.

جاءت معارضة وجهة نظر كوبنهاجن أيضا، كما هو معروف، من آينشتين واستمرت مع الواقعية الجامدة، نشر زميلا آينشتين الشابان بوريس بودولسكي **Boris Podolsky** وناثان روزن **Nathan Rosen** بحث "روزون بودولسكي آينشتين"، أعلنا فيه ما اعتبراه خطأً يمكن البرهنة عليه، وهو يمثل، في حقيقة الأمر، مفارقة في ميكانيكا الكم. يطالبنا تحليل آينشتين بودولسكي روزن أن نفكر في اثنين من الجسيمات الناشئة عن واقعة ما، حتى إن بعضًا من خصائصها الأساسية مرتبطة فيما بينها، ثم تحلق بعد ذلك بعيدًا عن بعضها بعضا. إن المجرب الذي يجري قياسا لخاصية واحدة من الجزيئات يعرف على الفور الخاصية المناظرة لها من جهة أخرى. ناقش كل من آينشتين وبودولوسكي وروزن أن هذا الترتيب هو الذي يتيح للفيزيائي الحصول على معرفة تتعلق بجسيم ما دون القيام بأي ملاحظة مباشرة له، ومن ثم يجب أن تكون خصائص الجسيم متأصلة فيه وثابتة، وهذا هو، ما يمليه علينا التفكير الكلاسيكي، وليس كما تدعي ميكانيكا الكم بأنها غير معروفة سلفًا.

أثارت وجهة نظر آينشتين وبودولوسكي وروزن، لعدة سنوات قد أثارت ملاحظة ميتافيزيقية جديرة بالاعتبار. فبعد مرور عقد بعد محاضرات جيفورد استطاع الفيزيائي جون بيل **John Bell** بوسيلة بارعة تحويل تحليل آينشتين وبودولوسكي وروزن لاختبار عملي معملي، لكن كان ثمة صعوبة ما، فإذا كان لجسيمين خصائص محددة قبل القياس لكنها غير معروفة وهذه الخصائص

المعروفة غير محددة ضمنا بواسطة ميكانيكا الكم، إذن فإن تجربة من هذا النوع التي اقترحها بيل سوف تعطي نتائج مختلفة عن التنبؤ الذي تقدمه ميكانيكا الكم. أجريت هذه التجارب، في نهاية المطاف، بعد وفاة هايزنبرج عام ١٩٦٧، ومن ثم تم التأكيد على نتائج ميكانيكا الكم والتنصل لوجهة نظر آينشتين وبودولوسكي وروزن. إن الدرس المستفاد، كما أشار إليه بالفعل هايزنبرج، في مناقشته لوجهات نظر آينشتين، هو أن الواقع في ميكانيكا الكم ليس هو الواقع الكلاسيكي، سواء رضي عن ذلك آينشتين أو لم يرض.

إن التفسير القياسي لميكانيكا الكم ما زال ينبض بالحياة ، لذلك كان عرض هايزنبرج الأنيق ما زال يحتفظ بقيمته وقوته. إلا أن القصة لم تنته بعد.

فقد عملت إستراتيجية كوبنهاجن بشكل جيد للغاية من أجل العلماء الذين يجرون تجارب في مختبراتهم، حتى بالنسبة لعلماء الفيزياء الفلكية في دراستهم لبنية النجوم والمجرات، ذلك لأنه لا يوجد البتة أي خلط جدي في هذه الحالات التي يجب التعامل معها باعتبارها جزءا من ميكانيكا الكم، وما هي الحالات التي يجب التعامل معها باعتبارها جزءًا من الميكانيكا الكلاسيكية، ولكن عندما نوسع نطاق عملنا ليشمل الكون كله، فإن هذا التمييز لا يمكن الاحتفاظ به. لقد بدأ الكون من الانفجار العظيم، باختصار، من فوضى كثيفة من الجسيمات الأولية المتفاعلة بشكل نشط - وبشكل خاص، الحالة الميكانيكية لقضايا الكم - بعد ما تمدد الكون وأصبح باردًا بدأت البنيات في الظهور - هذه المادة نفسها، ثم مجموعة من المواد في شكل أقرب إلى النجوم وهلم جرا، حتى وصلنا إلى الكون في حالته الراهنة. في هذا التطور، كانت هناك مجموعة من المجرات قد ظهرت بالفعل، وكذلك ظهرت النجوم والكواكب على نحو ما من ضبابية الكم غير المحددة، ولكنها ظهرت من دون وكالة من مقياس خارجي أو ملاحظ، لأن الكون هو كل شيء يوجد هنا.

ولأن وجهة نظر كوبنهاجن تعتمد على التمييز بين المقياس والشيء المقاس؛ فإنها واجهت مشكلة عندما يكون هناك نسق كوني فردي واحد ووحيد، ككل مترابط. ومع ذلك فإن روح كوبنهاجن ربما ما زالت تنبض بالحياة، إن استدعاء العملية التي تسمى "بالاتساق المفقود" حيث يناقش الفيزيائون بأن التفاعلات الداخلية لنظام الكم المعقد يشكل نوعا من القياس الذاتي المستمر الذي يسمح للنسق ككل أن يعرض خصائص ثابتة ومحددة على الرغم من حالة الكم الضمنية التي هي في تدفق مستمر، ينبغي النظر إلى هذه الخصائص بموجب تواصلها، وعلى أنها واقع موضوعي مستقل، وبالتالى فهي الخصائص التي، بطبيعة الحال، تلصق بها صفة الكلاسيكية. إذا نجح هذا النهج، فإن هذا يعطي مضمونا جوهريا لملاحظة هايزنبرج من أن الفيزياء الكلاسيكية هي" مثالية بالمعنى الذي نتحدث به عن أجزاء من العالم دون أية اشارة لذواتنا".

هذا يبدو واضحا حتى الآن، لكن ربما يصر النقاد في شكوكهم إزاء تفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكم على أنه أقل من المرضي؛ لأنه يتركنا في غموض مشكلات أولية محددة وغامضة، فهو لا يمكن أن يبوح حقا بهذه النقطة. إن عالم الكم حقا يصطدم بمشكلة الأسئلة الكونية، ولكني أفضل أن أنظر لهذه هذه العيوب باعتبارها مميزات. يمدنا تفسير كوبنهاجن بوسيلة موثوق بها لاستخدام ميكانيكا الكم، فالمشكلات التي لم يستطع الرد عليها هي بالتحديد ما قام الفيزيائيون بتقديم حلول لها باعتبارها معضلة أساسية - كيف حدثت علاقة التزاوج بين جاذبية ميكانيكا الكم وتجارب آينشتين وبودولوسكي وروزن. هذا يوضح أن ثمة طريقًا واحدًا لهذين الجزئين من الفيزياء، وهما ما زالا على خلاف. إن القياس على جسيم واحد كما يبدو، يمكن أن يحدد خصائص غير محددة مسبقًا لشريكه، حتى لو كان الاثنين، وفقا للمعايير الكلاسيكية، منفصلان تمامًا. هذه الحالة غير الممركزة، كما يطلق عليها الفيزيائيون (والتي يشير إليها آينشتين، بنفور واضح، على أنها فعل مرعب على مبعدة) والتي لا يمكن إنكارها تجريبيًا، هي في الوقت ذاته تبدو على خلاف مع روح النسبية الكلاسيكية المتجسدة في النسبية العامة.

إن المعالجة الميكانيكية الكمية للجاذبية ينبغي عليها أن تعيد، بطريقة ما، حل هذا الصدام بين المبادئ، من خلال توضيح كيف أن السببية، واللاتحديد، وبنية المكان والزمان متكاملة بشكل متجانس، وهذا بدوره يلقي الضوء على العالم الخارجي الذي ما زال غامضا كما تصوره ميكانيكا الكم، في غضون ذلك، فإن أي شخص يرغب في فهم كيف أدار الفيزيائيون هذا المعنى بنجاح ساحق عليه أن يقارن هذا الفرع من الفيزياء بقراءة هايزنبرج للتفسير الكلاسيكي.

ديفيد ليندلي

١ـ تقليد قديم وآخر جديد

عندما نتحدث اليوم عن الفيزياء الحديثة فإن أول ما يتبادر إلى أذهاننا الأسلحة الذرية. حيث يدرك الجميع التأثير الهائل لهذه الأسلحة على البناء السياسي لعالمنا المعاصر، ومن ثم لا بد من أن نعترف طواعية أن تأثير الفيزياء على الوضع العام أعظم من أي وقت مضى. ولكن هل كان حقا المظهر السياسي للفيزياء الحديثة هو الأكثر أهمية؟ عندما يكيف العالِم بنائه السياسي ذاته بالإمكانيات التقنية الجديدة، فما الذي يتبقى إذن من الفيزياء الحديثة؟

للإجابة عن هذين السؤالين، يجب أن نتذكر أن كل أداة تحمل في طياتها الروح التي خلقت من أجلها حيث تهتم كل أمة من الأمم وكل جماعة سياسية بالأسلحة الجديدة بطريقة ما، بغض النظر عن الموقع والتقليد الثقافي لهذه الجماعة او تلك، وأن روح الفيزياء الحديثة ستخترق عقول الكثيرين من الناس، وسترتبط نفسها بالتقاليد الأكثر قدما بطرق مختلفة. فما نتيجة تأثير فرع متخصص في العلوم الحديثة على مختلف التقاليد القديمة التي تحمل نفوذاً ما؟ فقد وجهت تلك المناطق من العالم، التي تطور بها العلم الحديث منذ أمد بعيد، اهتمامها الأساسي تجاه النشاط العملي، الصناعة والهندسة، إضافة إلى التحليل العقلاني للشروط الخارجية والداخلية لكل نشاط. حيث وجد هؤلاء الشعوب أنه من السهولة بمكان أن يتعاملوا مع الأفكار الجديدة بمجرد أن يكون لديهم الوقت لكي يتكيفوا ببطء وبشكل تدريجي مع مناهج التفكير العلمي الحديثة. في حين يتم التصدي لهذه الأفكار في مناطق أخرى من العالم من قبل الأسس الدينية والفلسفية للثقافة المحلية. في حقيقة الأمر، تلمس نتائج الفيزياء الحديثة تصورات أساسية مثل الواقع والمكان والزمان، وهذه المجابهة ربما تؤدي إلى تطورات جديدة تماما لا يمكن التنبؤ بها فيما بعد. هناك

سمة مميزة لهذا اللقاء بين العلم الحديث ومناهج التفكير القديمة، وهي الطابع العالمي، بكل ما تحمله هذه الكلمة من معنى. فثمة نوع من تبادل الأفكار بين الجانبين في مناطق مختلفة من العالم بحيث تكون متباينة في جانب منه، وهو التقليد القديم، وتكون واحدة في مكان آخر، وبالتالى تمتد نتائج هذا التبادل لكل المناطق التي يحتدم فيها النقاش.

لهذه الأسباب ربما من المفيد أن نحاول مناقشة أفكار الفيزياء الحديثة بلغة غير تقنية، وأن ندرس نتائجها الفلسفية، وأن نقارنها ببعض التقاليد الأقدم عهدا.

ربما أفضل وسيلة لطرق مشكلات الفيزياء الحديثة هي الوصف التاريخي لتطور نظرية الكم. صحيح أن نظرية الكم لا تمثل سوى قطاع صغير من الفيزياء الذرية، وأن الفيزياء الذرية من ناحية أخرى، تمثل قطاعا صغيرا للغاية من العلم الحديث. ومع ذلك فإن معظم التغيرات الجوهرية التي حدثت في نظرية الكم، خاصة في مفهوم الواقع، أدى إلى التركيز على الأفكار الجديدة للفيزياء الذرية وبلورتها في نظرية الكم في صورتها النهائية. إن الأجهزة التجريبية الضخمة وبالغة التعقيد الضرورية للبحث في الفيزياء النووية، تظهر جانبا آخر من الجوانب المؤثرة لهذا الجزء من العلم الحديث. أما فيما يتعلق بالتقنية التجريبية، فإن الفيزياء النووية تمثل الامتداد المتطرف لمنهج البحث الذي حدد نمو العلم الحديث منذ هاجينز **Huyghens** أو فولتا **Volta** أو فارادي **Faraday**. بهذا المعنى، ربما كانت التعقيدات الرياضياتية فى بعض أجزاء نظرية الكم، هى التى أدت إلى النتيجة المتطرفة لمناهج نيوتن **Newton** أو جاوس **Gauss** أو ماكسويل **Maxwell** غير أن التغير الذي طرأ على مفهوم الواقع يكشف عن ذاته في نظرية الكم لا باعتباره استمرارا بسيطا للماضي، بل يبدو أنه قطيعة حقيقية في بنية العلم الحديث. لذلك تم تخصيص أول الفصول التالية لدراسة التطور التاريخي لنظرية الكم.

٢- تاريخ نظرية الكم

ترتبط نشأة نظرية الكم بظاهرة معروفة جيدًا، هذه الظاهرة لا تنتمي إلى الأجزاء الرئيسية للفيزياء الذرية. فعندما نشرع في تسخين جزء من المادة فإنها تبدأ في التوهج، ومع ارتفاع درجات الحرارة تبدأ في الاحمرار ثم تصبح بيضاء متوهجة. لا يتوقف اللون كثيرًا على سطح المادة، بل يتوقف في الجسم الأسود على درجة الحرارة. ومن ثم فإن الشعاع المنبعث من الجسم الأسود، عند درجات الحرارة المرتفعة، يعد موضوعا ملائمًا للبحث الفيزيائي. إنها ظاهرة بسيطة لا نجد تفسيرًا لها سوى في القوانين المعروفة بالإشعاع والحرارة. لقد فشلت المحاولة التي قدمها كل من اللورد ريلي **Lord Rayleigh** وعالم الفيزياء جينز **Jeans** في نهاية القرن التاسع عشر وكشفت عن صعوبات جمة. لن يكون ممكنا هنا وصف هذه الصعوبات في عبارات بسيطة، ويكفي أن نصرح أن تطبيق القوانين المعروفة لا يؤدي دائما إلى نتائج معقولة. عندما تطرق بلانك **Blank** في عام ١٨٩٥ إلى هذا المجال من البحث حاول أن ينقل المسألة من الإشعاع إلى الذرة المشعة، بيد أن هذه النقلة لم ينتج عنها إزالة أي من الصعوبات الكامنة في هذه المسألة، بل عملت على تبسيط تفسير الوقائع التجريبية. ولكن في الوقت ذاته، وفي أثناء صيف عام ١٩٠٠ في برلين، أجرى كل من كارلبوم **Curlbaum** وروبنز **Rubens** قياسات جديدة ودقيقة للغاية لطيف الإشعاع الحراري. حاول بلانك أن يفسر هذه النتائج وقت سماعه بها بصيغ رياضياتية بسيطة بدت معقولة في بحثه عن العلاقة العامة بين الحرارة والإشعاع. فقد قارن كل من بلانك وروبنز، عندما تقابلا يوما لاحتساء الشاي في منزل بلانك، نتائج روبنز الأخيرة مع الصيغة الجديدة التي اقترحها بلانك، حيث أظهرت المقارنة توافقًا تامًا. وهذا أدى بدوره إلى اكتشاف قانون الإشعاع الحراري لبلانك.

في ذلك الحين كانت بداية تعاظم العمل النظري لبلانك، فماذا كان التفسير الفيزيائي الصحيح لهذه الصياغة الجديدة؟ استطاع بلانك بسهولة، من خلال أعماله السابقة، أن يصيغ عبارة عن الذرة المشعة (أو ما تسمى بالمتذبذبة) كان عليه أن يكتشف سريعًا أن صياغته بدت كما لو أن المتذبذبة تتضمن فقط كميات منفصلة من الطاقة. وهي نتيجة كانت مختلفة تمامًا عن ما هو معروف في الفيزياء الكلاسيكية، والتي كان تصديقها بالتأكيد موضع رفض منذ البداية، إلا إن بلانك أقنع نفسه في نهاية المطاف، طوال فترة العمل المكثف في أثناء صيف عام ١٩٠٠، أنه لا مفر من هذه النتيجة. وقد قيل على لسان ابنه أن والده قد تحدث إليه بأفكاره الجديدة في أثناء تنزههما سيرًا على الأقدام في غابة جرونيفالد من ضواحي برلين. فقد فسر بلانك في أثناء هذه النزهة، كيف أنه لمس إمكانية التوصل إلى كشف، بكل ما تحمله هذه الكلمة من معنًى، هذا الكشف ربما لا يضاهيه إلا اكتشافات نيوتن. لذا كان على بلانك أن يدرك في ذلك الوقت أن صياغته قد قاربت أسس وصفنا للطبيعة، وسيأتي اليوم الذي تنتقل فيه هذه الأسس من أوضاعها التقليدية الحاضرة إلى وضع جديد أكثر رسوخا ما زال مجهولا. إن بلانك الذي كان محافظًا في مجمل نظرته، لم يكن معجبا بهذه النتيجة على الإطلاق، الأمر الذي جعله يعلن عن فرض الكم في ديسمبر عام ١٩٠٠.

كانت الفكرة القائلة إن الطاقة تنبعث أو تمتص في كميات منفصلة، فكرة جديدة تمامًا، بحيث لم يكن من الممكن أن تتكيف هذه الفكرة داخل الإطار التقليدي للفيزياء. لقد فشل بلانك في محاولة التوفيق بين فرضه الجديد وقوانين الإشعاع في النقاط الجوهرية. حيث استغرق الأمر خمس سنوات كي تأتي الخطوة التالية في الاتجاه الجديد.

هذه المرة كان هناك شاب يدعى ألبرت آينشتين، عبقري ثوري وسط الفيزيائيين، لم يخش أن يمضي بعيدًا عن المفاهيم القديمة. إلا إنه كان ثمة مسألتان مكنتاه من الاستفادة من الأفكار الجديدة. الأولى كانت تدعى التأثير الكهرضوئي،

وتتلخص في انبعاث الإلكترونات من المعادن بفعل تأثير الضوء. أظهرت التجارب، بخاصة تجارب لينارد **Lenard**، أن طاقة الإلكترونات المنبعثة لا تعتمد على شدة الضوء، بل فقط على لون هذا الضوء، أو على نحو أكثر دقة، على تردده. لم يكن هذا مفهوما على أساس النظرية التقليدية للإشعاع. ومن ثم تمكن اينشتين من تفسير الملاحظات بتفسير فرض بلانك القائل: إن الضوء يتكون من كمات من الطاقة التى تنتقل عبر المكان، ويلزم أن تكون طاقة الكم الواحد للضوء، وفقا لافتراض بلانك، مساوية لتردد الضوء مضروبًا في ثابت بلانك.

أما المسألة الثانية كانت تتعلق بالحرارة النوعية للأجسام الصلبة. تفضي النظرية التقليدية إلى قيم للحرارة النوعية تتوافق مع الملاحظات التي تتم على درجات حرارة مرتفعة، لكنها تتعارض معها عند درجات الحرارة المنخفضة. كان اينشتين للمرة الثانية قادرًا على إثبات أنه يمكن للمرء أن يفهم هذا المسلك بتطبيق فرضية الكم على الاهتزازات المرنة للذرات في الجسم الصلب. فقد أظهرت هاتان النتيجتان تقدمًا مهما وملحوظا لأنهما كشفتا عن وجود كم الفعل لبلانك، والذي يطلق عليه الفيزيائيون ثابت بلانك **Plank's Constant**(*)، في العديد من الظواهر والتي لم يكن لديها علاقة مباشرة بالإشعاع الحراري. كما كشفتا في الوقت ذاته، عن الطابع الثوري الأكثر عمقًا للفرضية الجديدة، فقد أدت الأولى إلى وصف مختلف تماما للضوء عن الصورة الموجية التقليدية، فالضوء إما أن يتم تفسيره على أنه مكون من موجات كهرومغناطيسية، وفقا لنظرية ماكسويل، أو أنه يتكون من كمات الضوء، حزم من الطاقة تنتقل عبر المكان بسرعة فائقة، لكن هل يمكن الأخذ بكليهما معا؟ كان آينشتين، بطبيعة الحال، على دراية أنه يمكن تفسير ظاهرة

(*) هو ثابت فيزياني يرمز له بالرمز **h** ويستخدم لتحديد قيم الظواهر الكمية. (المترجم)

الحيود والتداخل على أساس الصورة الموجية فقط. لم يكن في استطاعته مناقشة التناقض التام بين الصورة الموجية وفكرة كمات الضوء، فضلاً عن عدم محاولته إزالة التضارب في هذا التفسير، لقد نظر إلى هذا التعارض على أنه شيء يمكن ببساطه فهمه في وقت لاحق.

في أثناء ذلك، كانت تجارب كل من بيكريل **Becqerel** وكوري **Curie** وروزفورد **Rutherford** قد أدت إلى توضيح يتعلق ببنية الذرة. ففي عام ١٩١١ أثمرت نتائج ملاحظات رورفورد على تفاعل أشعة ألفا التي تنفذ خلال المادة عن نموذجه الذري الشهير. حيث تم تصوير الذرة على أنها نواة تحمل شحنات موجبة وتضم تقريبًا الكتلة الكلية للذرة، تدور الإلكترونات حول النواة مثل الكواكب السيارة التي تدور حول الشمس. أما الرابط الكيميائي بين ذرات العناصر المختلفة فقد تم تفسيره على أنه تفاعل بين الإلكترونات الخارجية المتجاورة للذرات، وليس لها علاقة مباشر مع نواة الذرة. تحدد النواة المسلك الكيميائي للذرة من خلال شحنتها، والتي تحدد بدورها عدد الإلكترونات في الذرة المتعادلة. بداية لم يكن نموذج الذرة قادرًا على تفسير السمة الأكثر تميزًا للذرة؛ أعني ثباتها الهائل، ليس ثمة نظام كوكبي يسير على نهج قوانين نيوتن الميكانيكية قادر على العودة إلى وضعه الأصلي بعد اصطدامه بنظام آخر مماثل، إلا إن ذرة عنصر الكربون، على سبيل المثال، ستظل ذرة كربون بعد أي تصادم أو تفاعل يحدث في الرابط الكيميائي.

قدم بور تفسيرًا لهذا الثبات الاستثنائى في عام ١٩١٣ بتطبيق فرض الكم لبلانك، فإذا كانت الذرة قادرة فقط على تغيير طاقتها عبر كمات الطاقة المنفصلة، فهذا يعني وجوب تواجد الذرة فقط في حالات الثبات المنفصلة، وهذا هو أدنى شيء بالنسبة للحالة الطبيعية للذرة، بناء على ذلك، فإن الذرة في نهاية المطاف ستعود دائما إلى حالتها الطبيعية بعد أي تفاعل.

استطاع بور أن يفسر ثبات الذرة عبر تطبيق نظرية الكم على النموذج الذري، ليس هذا فحسب، بل قدم تفسيرا نظريا للطيف الخطي **Line Specra** المنبعث من الذرة بعد تنشيطها بالتفريغ الكهربائي أو الحرارة. تقوم نظريته على مزيج من الميكانيكا الكلاسيكية لحركة الإلكترونات تحت شروط الكم، حيث تم فرضها على الحركات الكلاسيكية لتحديد حالات الثبات المنفصلة للنظام الذري. أما الصياغة الرياضيانية المتسقة لهذه الشروط فقد قدمت في وقت لاحق عبر سومرفيلد. كان بور مدرك تماما لحقيقة أن شروط الكم تفسد أحيانا اتساق وتماسك الميكانيكا النيوتونية. فوفقا لنظرية بور يمكن للمرء أن يحسب ترددات الضوء المنبعث من حالة بسيطة لذرة هيدروجين، فضلا عن أن التوافق مع الملاحظات قد بلغ حد الكمال. بيد أن هذه الترددات كانت مختلفة عن الترددات المدارية وتوافقها مع الإلكترونات الدائرة حول النواة. تجلت الحقيقة لأول وهلة بأن النظرية كانت وما زالت مفعمة بالمتناقضات، بيد أنها تتضمن جزءا جوهريا من الحقيقة، فهي تفسر بشكل كمي، المسلك الكيمياني للذرات وأطيافها الخطية، ولقد تم التحقق من وجود حالات ثبات منفصلة عن طريق تجارب فرانك **Franck** وهيرتز **Hertz** وشتيرن **Stern** وجيرلاخ **Gerlach** .

فتحت نظرية بور اتجاها جديدا في البحث، فقد أتاح هذا الكم الهائل من المواد التجريبية التي تم جمعها عبر التحليل الطيفي لعدة عقود، الحصول على معلومات تتعلق بقوانين الكم غير المألوفة التي تحكم حركات الإلكترونات في الذرة. وقد أجريت العديد من تجارب الكيمياء لهذا الغرض، وتعلم الفيزيائيون منذ ذلك الحين أن يطرحوا التساؤلات الوجيهة، حيث إن طرح السؤال الوجيه يمثل أكثر من نصف الطريق نحو حل المشكلة.

فما هذه التساؤلات؟ كان معظمها تقريبا يدور حول المتناقضات الغريبة الظاهرة للعيان بين نتائج التجارب المختلفة. كيف يمكن لنفس الإشعاع الذي يقدم

أنماطا من التداخل، ومع ذلك يتألف بالضرورة من موجات، ينتج عنه أيضا تـأثير كهروضوئي، ومع ذلك يتألف من جسيمات متحركـة؟ كيـف لا تتبـدى الحركـة المدارية للإلكترون في الذرة في تردد الإشعاع المنبعث؟ هل هذا يعني أنه لا يوجد ثمة حركة مدارية؟ ولكن إذا كانت فكرة الحركة المدارية خاطئة، فما الذي يحـدث للإلكترون داخل الذرة؟ قد يتمكن المرء من رؤية حركة الإلكترونات عبر غرفـة سحابية(*) Cloud Chamber، وأحيانا يتم تفريغها من الذرة، فلماذا لا ينبغي أيضًا أن تتحرك داخل الذرة؟ صحيح أن الإلكترونات ربما تبقى على حالتها من الثبـات في الحالة الطبيعية للذرة، حالة أدني طاقة. بيد أن هناك العديد من حالات الطاقـة الأعلى، حيث يكـون للقـشرة الإلكترونيـة تحـرك زاوي. لا يمكـن أن تكـون الإلكترونات في حالة ثبات، قد يضيف المرء عددًا من الأمثلة المشابهة. بحيث يجد المرء، مرارًا وتكرارا، أن محاولة وصف الأحداث الذرية بمـصطلحات الفيزيـاء التقليدية قد أدى إلى تناقضات.

اعتاد الفيزيائيون تدريجيا خلال أوائل العشرينيات من القرن العـشرين علـى مثل هذه الصعوبات، واكتسبوا معرفة إلى حد ما غامـضة عـن مكمـن المـشكلة، وتعلموا كيف يتفادوا تلك المتناقضات. لقد تعرفوا على أن أي وصف للواقعة الذريـة يمكن أن يكون صحيحًا بالنسبة لتجربة خاصة قيد المناقشة. هذا لم يكن كافيًا لتـشكيل

(*) الغرفة السحابية أو غرفة ويلسون السحابية، عبارة عن جهاز اخترعه العالم الإسكتلندي تشالز ويلسون C.Wilson الحاصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٢٧، هذا الجهاز صمم خصيصًا للكشف عن الجسيمات المشحونة بالرؤية المباشرة، حيث استخدمها ويلسون لأول مرة عام ١٩١٢. وفكرة هذا أنه يملأ بالهواء النقي والمشبع ببخار الماء عند درجة حرارة الغرفة الجهاز. وعند تحرك المكبس فجأة وبسرعة عالية إلى أسفل يحدث تمدد مفاجئ لخليط الهواء وبخار الماء، يؤدي إلى الانخفاض المفاجئ في درجة حرارة الخليط ويصبح بخار الماء في حالة فوق التشبع. فإذا مرت في هذه اللحظة جسيمات مشحونة وأدت إلى تكوين أزواج إليكترونية أيونية داخل الفراغ الداخلي، يتكثف بخار الماء فوق المتشبع على الأيونات ويظهر أثر لقطرات الماء المتكثفة على الأيونات بطول أثر الجسيمات المشحونة. ويمكن بالتالى رؤية أثر الجسيم إما بالعين المجردة أو التصوير في هذه اللحظة وذلك بإدخال ضوء من فتحة جانبية والتصوير خلال الغطاء العلوي الشفاف للجهاز. ويمكن استخدام الغرفة السحابية أيضا في تحديد شحنة الجسيم واندفاعه وبالتالى طاقته. (المترجم)

صورة متسقة عامة تفسر ما الذي يحدث في عملية الكم. بل غيرت آراء الفيزيائيين بطريقة ما وأوصلتهم إلى روح نظرية الكم. لذلك عرفنا، على أيه حال، قليلا أو كثيرًا عن ما ستؤول إليه نتيجة تجربة ما قبل وجود صياغة متسقة لنظرية الكم.

إحدى المناقشات المثارة بشكل متكرر تلك التي تسمى بالتجارب المثالية، حيث أسست هذه التجارب للإجابة عن التساؤلات الحاسمة بغض النظر عن إمكانية تنفيذها، من المهم بطبيعة الحال، من حيث المبدأ، أن نجري التجربة، إلا إن التقنية ربما تكون معقدة للغاية. قد تكون التجارب المثالية مفيدة للغاية في توضيح مشكلات بعينها، ولكن إذا لم يكن هناك اتفاق بين الفيزيائيين حول نتيجة تجربة مثالية ما، ففي كثير من الأحيان نتمكن من العثور على تجربة بسيطة شبيهة يمكن إجراؤها، ومن ثم فإن الإجابة التجريبية ساهمت بشكل جوهري في توضيح نظرية الكم.

كانت الخبرة الأغرب في تلك السنيين هي عدم تلاشي مفارقات نظرية الكم خلال عملية التوضيح تلك، بل على العكس، غدت أكثر بروزا وأكثر إثارة. كانت هناك على سبيل المثال تجربة كومبيتون **Compton** المتعلقة باستطارة أشعة إكس. تقول التجارب المبكرة عن تداخل الضوء المستطار أنه ليس ثمة شك أن الاستطارة تحدث بشكل جوهري على هذا النحو: تتسبب موجة الضوء الساقط على اهتزاز شعاع إلكترون بتردد الموجة نفسه؛ ثم يبعث الإلكترون موجة كروية بالتردد نفسه، وبالتالي ينتج الضوء المستطار. ومع ذلك وجد كومبيتون في عام ١٩٢٣ أن تردد أشعة إكس المستطارة مختلفة عن تردد أشعة إكس الساقطة، يمكن أن يفهم هذا الاختلاف في التردد شكليا بافتراض أن الاستطارة تنتج عن اصطدام كم ضوء بالإلكترون، فطاقة كم الضوء تتغير في أثناء عملية التصادم، ولما كان حاصل ضرب التردد × ثابت بلانك ينتج عنه طاقة كم الضوء، فمن الضروري أن يتغير التردد. ولكن ما الذي حدث في هذا التفسير لموجة الضوء؟ بدت التجربتان- الأولى المتعلقة بتداخل الضوء المستطار والأخرى عن تغير تردد الضوء المستطار- متناقضتان مع بعضهما بعضًا دون إمكانية إيجاد حل وسط.

كان العديد من الفيزيائيين فى ذلك الوقت، علـــى قناعـــة بـــأن مثـــل هـــذه التناقضات الظاهرة للعيان ترجع للبنية الجوهرية للفيزياء الذرية، لذا حاول بـــدوى **De Broglie** عام ١٩٢٤ فى فرنسا أن يمتد بهذه الثنائيـــة بـــين وصـــف الموجـــة ووصف الجسيم إلى الجسيمات الأولية، أو بالأحرى، الإلكترونات. فقـــد أثبـــت أن موجة مادة ما قد تتطابق مع إلكترون متحرك، تمامًا كما تتطابق موجة ضوء مـــع كم ضوء متحرك. لم يكن واضحا وقتئذ ما الذى تعنيه كلمة "تطـــابق"، فـــى هـــذا الصدد. بيد أن دى بروى اقترح ضرورة تفسير شرط الكم فى نظرية بور على أنه تعبير عن موجات المادة. يمكن أن تكون الموجة التى تدور حول النواة ثابتة فقـــط فى وجود أسباب هندسية، ومن الضرورى أن يكون محيط المدار عـــددا صـــحيحًا مضاعف لطول الموجة. ارتبطت فكرة دى بدوى، بهذه الطريقة، بشرط الكم، تلـــك الفكرة التى كانت دائما عنصرا غريبًا فى ميكانيكا الإلكترونـــات، أعنـــى: ثنائيـــة الموجة – الجسيمات.

أما التناقض بين حساب التردد المـــدارى للإلكترونـــات، وتـــردد الإشـــعاع المنبعث فى نظرية بور، إنما يرجع كونه قصورا فى مفهوم مدار الإلكترون، هـــذا المفهوم الذى كان موضع شك منذ البداية، تتحرك الإلكترونات فى المدارات العليـــا على مسافات بعيدة من النواة، وهى تفعل بالمثل تماما عندما يراها المرء تتحـــرك خلال الغرفة السحابية. يمكننا أن نتحدث هنا عن المدارات الإلكترونية لذا كان من الملائم تمامًا لهذه المدارات العليا لترددات الإشعاع المنبعث، أن تقترب من التـــردد المدارى وتوافقاتها العليا. كما اقترح بور فى أبحاثه المبكرة بـــأن شـــدة خطـــوط الطيف المنبعثة تقترب من شدة التوافقات المتطابقة، وقد تم البرهنـــة علـــى مبـــدأ التطابق **Principle of correspondence** على أكمل وجه فى الحـــساب التقريبـــى لشدة الخطوط الطيفية. يمكن للمرء بهذة الطريقة أن يصل إلى انطبـــاع مـــؤداه إن نظرية بور تمدنا بوصف نوعى لا كمى لما يحدث داخل الذرة، وهذا أفضى إلـــى سمة جديدة لسلوك المادة تم التعبير عنها بشكل كمى عن طريق شروط الكم، والتى ارتبطت بدورها، بثنائية الموجات والجسيمات.

برزت الصياغة الرياضياتية الدقيقة لنظرية الكم في نهاية المطاف من خلال تطورين متباينين. انطلق الأول من مبدأ التطابق لدى بور. فإذا تخلى المرء عن مفهوم مدار الإلكترون فإنه يتعين عليه الاحتفاظ به في حدود أعداد الكم الكبيرة، أعني المدارات الكبيرة. في هذه الحالة الثانية فإن الإشعاع المنبعث عبر تردداته وشدته، يقدم صورة لمدار إلكتروني؛ إنه يمثل ما يطلق عليه علماء الرياضيات مفكوك فورييه للمدار. طرحت الفكرة نفسها بحيث أن المرء ينبغي أن يدون القوانين الميكانيكية، لا باعتبارها معادلات لمواقع وسرعات الإلكترونات، بل باعتبارها معادلات لترددات وسعات مفكوك فورريه. انطلاقًا من هذه المعادلات وإدخال بعض التغيرات الطفيفة عليها سيكون في مقدور المرء الذي لم يفقد الأمل بعد، أن يصل إلى علاقات لتلك المقادير تتطابق مع ترددات وشدة الإشعاع المنبعث، سواء بالنسبة للمدارات الصغيرة أو الحالة الطبيعية للذرة. لقد أدى تنفيذ هذه الخطة فعلا في صيف عام ١٩٢٥ إلى الصورية الرياضياتية والتي أطلق عليها ميكانيكا المصفوفات، أو بوجه عام ميكانيكا الكم. لقد استعيض عن معادلات الحركة في الميكانيكا النيوتونية بمعادلات مماثلة بين المصفوفات، بل كانت تجربة مثيرة أن نجد أنه من الممكن أن نستنبط من هذا النهج الجديد العديد من النتائج المعروفة في ميكانيكا نيوتن مثل حفظ الطاقة وما إلى ذلك، كما أظهرت البحوث اللاحقة لبورن **Born** وجوردان **Jordan** وديراك **Dirac** أنه لا يمكن إجراء تبادل بين المصفوفات التي تمثل موضع وكمية حركة الإلكترون. تتجلى هذه الحقيقة الأخيرة في الفارق الجوهري بين ميكانيكا الكم والميكانيكا الكلاسيكية.

كان هناك تطور آخر صار على نهج فكرة دي بروي فيما يتعلق بموجات المادة، فقد حاول شرودنجر أن يضع معادلة موجية لموجات دي بروي الثابتة حول النواة. ونجح في أوائل عام ١٩٢٦ في استنباط قيم الطاقة في الحالات الثابتة لذرة الهيدروجين باعتبارها "قيمًا ذاتيةً كامنةً" **Eigenvalues** لمعادلته الموجية، كما تمكن من تقديم وصف أكثر عمومية لتحويل مجموعة معطاة من

المعادلات الكلاسيكية للحركة، إلى معادلة موجية متطابقة في مكان متعدد الأبعاد. كما استطاع في وقت لاحق أن يبرهن على صوريته لميكانيكا الموجة بأنها تعادل رياضياتيا الصورية القديمة لميكانيكا الكم.

وهكذا وصلنا في نهاية المطاف إلى صورية رياضياتية، والتي تم تحديدها بطريقتين متكافئتين، فإما أن نبدأ من العلاقات بين المصفوفات أو من المعادلات الموجية. لقد أعطت هذه الصورية القيم الصحيحة لذرة الهيدروجين: استغرق هذا أقل من عام واحد حتى اتضح أنها ناجحة أيضا مع ذرة الهليوم، و أيضا مع المشكلات الأكثر تعقيدًا للذرات الأثقل. ولكن بأي معنى قامت الصورية الجديدة بوصف الذرة؟ لم يتم حل مفارقات الثنائية بين الصورة الموجية والصورة الجسيمية، لقد كانت هذه الثنائية محجوبة عن الأنظار بطريقة ما في النهج الرياضياتي.

تم اتخاذ الخطوة الأولى والمثيرة للاهتمام تجاه الفهم الحقيقي لنظرية الكم من قبل كل من بور وكرامرز **Kramers** وسلاتر **Slater** وذلك في عام ١٩٢٤ حيث حاول هؤلاء الباحثون حل التناقض الجلي بين صورة الموجة وصورة الجسيم عبر مفهوم موجة الاحتمال. تم تفسير الموجات الكهرومغناطيسية على أنها موجات احتمالية وليست "واقعية"، تتحدد شدة احتمالية هذه الموجات في كل نقطة يتم فيها امتصاص ذرة لكم ضوء (أو بفعل الانبعاث) أدت هذه الفكرة إلى نتيجة مؤداها أن قوانين حفظ الطاقة وكمية الحركة ليست في حاجة إلى أن تكون صحيحة بالنسبة لواقعة فردية ما، بل هي قوانين إحصائية فقط وهي صحيحة فقط في المتوسط الإحصائي. هذه النتيجة لم تكن صحيحة، ومع ذلك ظل الترابط بين المظهر الموجي والمظهر الجسيمي للإشعاع أكثر تعقيدًا.

إن ورقة بحث كل من بور وكرامرز وسلاتر كشفت عن سمة جوهرية للتفسير الصحيح لنظرية الكم. إنه مفهوم الموجة الاحتمالية، وكان هذا شيئًا جديدًا

تماما في الفيزياء النظرية منذ نيوتن. إن الاحتمال في الرياضيات أو في الميكانيكا الإحصائية يعبر عن درجة معرفتنا بالموقف الفعلي. فعندما نرمي بحجـر النـرد فنحن لا نعرف تفاصيل دقيقة عن حركة أيدينا التى تحدد سقوطه، وبالتالي نقول إن احتمالية ظهور عدد محدد في عملية الرمي تلك هي واحد إلى ستة. ومع هذا كانت موجة الاحتمال عند بور وكرامرز وسلاتر تعني أكثر من ذلك، كانت تعني النزوع لشيء ما، إنها الترجمة الكمية لمفهوم الوجود "بالقوة" في الفلسفة الأرسطية(*).. لقد قدمت شيئا ما يقف بين تصور الحدث والحدث الفعلي، وهـو نـوع مـن الواقـع الفيزيائي الذي يقع في منتصف الطريق بين الإمكانية والواقع.

عندما تم تحديد الإطار الرياضياتى لنظرية الكم فيما بعد شرع بـورن فـي معالجة فكرة موجة الاحتمال، وقدم تعريفا واضحا للكم الرياضياتى في الـصورية، والذي كان من المفترض أن يتم تفسيره باعتباره موجة احتمال. لم يكن ثمة موجـة ثلاثية الأبعاد مثل الموجات المرنة أو موجات الراديو، بل كانت موجـة متعـددة الأبعاد تشكلت في المكان. وبالتالى فهي كمية رياضياتية بحتة.

في ذلك الوقت، وحتى صيف ١٩٢٦ لم يكن واضحًا في هذه الحالـة كيـف يمكن للصورية الرياضياتية أن تستخدم لوصف موقف تجريبي معطى. لقد عرفنـا كيف يتم وصف حالات ثابتة للذرة، إلا إننا لم نعرف كيف نـصف واقعـة أكثـر بساطة، على سبيل المثال حركة إلكترون خلال غرفة سحابية.

عندما أظهر شرودنجر في ذلك الصيف أن صوريته لميكانيكا الموجة تعادل ميكانيكا الكم رياضياتيًا، حاول لفترة أن يتخلي عن الكمات و"القفزات الكمية" معـا، والاستعاضة عن الإلكترونات في الذرات بنظريته في موجات المادة ثلاثية الأبعاد، لقد كان مصدر إلهام شرودنجر في محاولته تلك هو نتيجته، وهـي أن مـستويات

(*) الوجود بالقوة في الفلسفة الأرسطية هو ما يمكن أن يحدث، وإن لم يكن موجودًا بالفعل، أو هو الاستعداد أو الإمكان بأن يوجد الشيء بالفعل. (المترجم)

الطاقة لذرة الهيدروجين في نظريته بدت ببساطة على أنها ترددات كامنة لموجات المادة الثابتة، لذلك تصور أنه من الخطأ أن نطلق عليها طاقات، بل هي بالأحري ترددات. بيد أن المناقشات التي جرت في خريف عام ١٩٢٦ في كوبنهاجن بين بور وشرودنجر ومجموعة فيزيائيي كوبنهاجن، أظهرت أن مثل هذا التفسير لم يكن كافيا لتفسير صياغة بلانك للإشعاع الحراري.

كانت هناك دراسة مكثفة لكل المسائل المتعلقة بتفسير نظرية الكم في كوبنهاجن خلال الأشهر اللاحقة لتلك المناقشات، والتي أدت في نهاية المطاف إلى موقف واضح ومرضٍ تماما- كما يعتقد بعض الفيزيائيين- إلا إنه لم يكن حلا يمكن للمرء أن يتقبله بسهولة. ما زلت أتذكر مناقشاتي مع بور لساعات طويلة استمرت لوقت متأخر من الليل، وانتهت تقريبا باليأس، في نهاية المناقشة ذهبت بمفردي أتنزه في حديقة مجاورة وقد حدثت نفسي بهذا السؤال مرارًا وتكرارًا: هل يمكن أن تكون الطبيعة بهذا القدر من السخافة التي تبدو لنا في هذه التجارب الذرية؟

تم التعامل مع الحل النهائي عبر طريقتين مختلفتين: الأولى كانت تدور حول المسألة، فبدلا من طرح سؤال كيف يتسني للمرء أن يعبر في النهج الرياضياتى المعروف عن موقف تجريبي معطى؟ تم وضع سؤال آخر على هذا النحو: هل صحيح أن ما يظهر في الطبيعة من مواقف تجريبية من المحتمل التعبير عنها بالصورية الرياضياتية؟ إذا كان هذا الافتراض صحيحًا فهو يؤدي بالفعل إلى قيود في استخدام تلكموا المفاهيم التي كانت أساس الفيزياء الكلاسيكة منذ نيوتن. يمكن للمرء أن يتحدث عن موضع وسرعة إلكترون ما في الميكانيكا النيوتونية، كما أنه يستطيع ملاحظة وقياس تلك المقادير. إلا إنه لا يقدر بشكل حاسم على أن يحدد كلا المقدرين معا في الوقت نفسه بدقة أكبر. في حقيقة الأمر كان حاصل ضرب هذين الخطأين في عملية التقدير تلك ليس سوى ثابت بلانك مقسوما على كتلة الجسيم. من الممكن صياغة علاقات مشابهة لمواقف تجريبية أخرى وهي تسمى عادة علاقات

اللايقين **Uncertainty** أو مبدأ اللاتحديد **Indeterminacy**. إن أحد الدروس المستفادة من هذا هو أن المفاهيم القديمة لا تتلائم مع الطبيعة بشكل دقيق.

تكمن الطريقة الأخرى في مفهوم التتام لبور. فقد وصف شرودنجر الذرة بأنها نظام يتكون من نواة وموجات المادة لا من نواة وإلكترونات. كانت صورة موجات المادة تتضمن قدرا من الحقيقة. وضع بور الصورتين في الاعتبار – الصورة الجسيمية والصورة الموجية – باعتبارهما وصفين متتامين لنفس الواقع ولا يحمل أي منهما إلا جزءا من الحقيقة، كان لزاما أن يكون ثمة قيودا لاستخدام مفهوم الجسيم وكذا مفهوم الموجة، وإلا لما استطاعنا أن نتجنب التناقضات. فإذا ما أخذنا بعين الاعتبار تلكموا القيود التي يمكن التعبير عنها بعلاقات اللايقين، عندئذ ستختفي التناقضات.

بهذه الطريقة أصبح لدينا منذ ربيع ١٩٢٧ تفسيرا متماسكا لنظرية الكم والذي يطلق عليه في كثير من الأحيان" تفسير كوبنهاجن". هذا التفسير الذي تلقى اختبارا حاسما **Cruaial**. في أثناء مؤتمر سولفاي ببروكسل خريف ١٩٢٧. تلك التجارب التي كانت تؤدي دائما إلى أسوأ المفارقات والتي قام آينشتين بمناقشتها بشكل مفصل مرارا وتكرارا. تم ابتكار تجارب مثالية جديدة لاكتشاف أي تناقض ذاتي محتمل للنظرية، إلا إن النظرية أظهرت تماسكا وتوافقاً مع التجارب بقدر ما نرى.

ستكون تفاصيل تفسير كوبنهاجن موضوع الفصل التالي، وينبغي التشديد هنا على أن هذا الأمر قد تطلب أكثر من ربع قرن للوصول إلى الفكرة الأولى لوجود كم الطاقة حتى توصلنا إلى فهم صحيح لقوانين الكم النظرية، وهذا إذا دل على شيء إنما يدل على التغير الهائل الذي حدث في المفاهيم الأساسية المتعلقة بالواقع قبل أن يتمكن المرء من فهم الوضع الجديد.

٣- تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم

يبدأ تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم من مفارقة، فأية تجربة في الفيزياء، سواء كانت تتعلق بظواهر الحياة اليومية أو بوقائع ذرية، يتم وصفها بمصطلحات الفيزياء الكلاسيكية حيث تشكل مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية اللغة التى نصف بها نظام تجاربنا ونصوغ من خلالها النتائج. ولا يمكننا أن نستبدل هذه المفاهيم بأخرى ولا ينبغى لنا ذلك . إلا إن تطبيق هذه المفاهيم يتحدد بعلاقات اللايقين. يجب أن نضع في الاعتبار هذا المجال المحدود لقابلية تطبيق المفاهيم الكلاسيكية عند استخدامها، إلا إننا لا يمكن ولا ينبغي أن نحاول، إدخال التحسينات عليها.

من المفيد لفهم أفضل لهذه المفارقة أن نقارن بين إجراء تفسير نظري لتجربة في الفيزياء الكلاسيكية وبين أخرى في نظرية الكم. فمثلا، يمكن أن نبدأ في ميكانيكا نيوتن بقياس موضع وسرعة الكوكب الذي نحن بصدد دراسته، يتم ترجمة نتيجة الملاحظة إلى الرياضيات عبر استنتاج أعداد إحداثيات الكوكب وكمية حركته من خلال الملاحظة. ثم نستخدم معادلات الحركة المستنبطة من قيم الإحداثيات وكمية الحركة في وقت محدد، يمكن بهذه الطريقة لعالِم الفلك أن يتنبأ بقيم الإحداثيات أو أية خصائص أخري في وقت لاحق، فهو قادر، أن يتنبأ، مثلا، بالضبط بوقت خسوف القمر.

يختلف هذا الإجراء في نظرية الكم قليلاً، فنحن نهتم، مثلا، بحركة إلكترون ما عبر غرفة سحابية ويمكن أن نحدد عبر الملاحظة موضعه الأولى وسرعته. بيد أن مثل هذا التحديد لن يكون دقيقًا، فهو على أقل تقدير يشتمل على أخطاء ناتجة عن علاقات اللايقين، وربما اشتمل على أخطاء أكبر ناجمة عن صعوبة التجربة،

أول هذه الأخطاء هي تلك التى تجيز لنا ترجمة نتيجة الملاحظة إلى نظام رياضياتى لنظرية الكم. لقد تم تسجيل الدالة الاحتمالية التى تمثل الموقف التجريبي وقت القياس، مشتملة حتى على الأخطاء الممكنة في هذا القياس.

تمثل هذه الدالة الاحتمالية مزيجًا من شيئين، فهي تشمل جزءا من الواقعة وجزءا من معرفتنا بالواقعة، فهي تمثل واقعة بقدر ما تحدد، لأول وهلة، الوحدة الاحتمالية (أي اليقين الكامل) للموقف الأولي: يتحرك الإلكترون بالسرعة الملحوظة عند موضع مُلاحظ، تعني "مُلاحظ" ما هو مُلاحظ داخل دقة التجربة. وهي تمثل معرفتنا بالنسبة لملاحظ آخر ربما يقدر على معرفة موقع إلكترون بطريقة أكثر دقة. إن الخطأ في التجربة لا يمثل البتة خاصية للإلكترون، بل هو نقص في معرفتنا بالإلكترون ذاته، حيث يتم التعبير عن هذا النقص في المعرفة أيضا بدالة الاحتمال.

ينبغي علينا في الفيزياء الكلاسيكية أن نتوخى الحذر عند التحقق، وأيضا لا بد من أن نضع في الاعتبار خطأ الملاحظة، ومن ثم يمكن للمرء أن ينال توزيعا احتماليا للقيم الأولية للإحداثيات والسرعات، ومن ثم نجد شيئا شبيها بدالة الاحتمال في ميكانيكا الكم. إن ما تفتقر إليه الفيزياء الكلاسيكية هو اللايقين الضروري الذي هو نتيجة لعلاقات لا يقينية.

في البداية عندما تم تحديد دالة الاحتمال في نظرية الكم من خلال الملاحظة، تمكننا من خلال قوانين نظرية الكم، حساب دالة الاحتمال مستقبلا، ومن ثم يمكننا أن نحدد احتمالية مقياس ما بإعطاء قيمة بعينها للكمية المقاسة. كما يمكننا، على سبيل المثال، أن نتنبأ باحتمالية العثور على إلكترون في وقت لاحق عند نقطة محددة في غرفة سحابية. ينبغي أن نؤكد هنا، أن دالة الاحتمال لا تمثل في حد ذاتها سياقا بين الوقائع في سياق الزمن، بل تمثل النزوع نحو الوقائع ومعرفتنا بها، يمكن ربط دالة الاحتمال مع الواقع إذا تم تحقيق شرط أساسي واحد وهو: إذا تم

تقديم قياس جديد يحدد خاصية معينة للنسق، عندئذ فقط تسمح لنا دالة الاحتمال حساب النتيجة المحتملة للقياس الجديد. مرة أخري يتم تحديد هذا القياس بمصطلحات الفيزياء الكلاسيكية لذلك، يتطلب التفسير النظري لتجربة ما ثلاث خطوات واضحة المعالم:

(١) ترجمة الموقف التجريبي الأولي إلى دالة احتمال.

(٢) متابعة هذه الدالة في سياق الزمن.

(٣) يمكن تقديم عبارة قياس جديدة للنسق، عندئذٍ يمكن حساب نتيجتها من دالة الاحتمال.

فبالنسبة للخطوة الأولى فإن تحقيق علاقات اللايقين شرط ضروري. أما فيما يتعلق بالخطوة الثانية، فلا يمكن وصفها بمصطلحات المفاهيم الكلاسيكية، فليس ثمة وصفاً لما يحدث في النسق بين الملاحظة الأولية والقياس التالي. أما الخطوة الثالثة وحدها هي التى تجعلنا نتحول مرة أخرى من "الممكن" إلى "الواقعي".

دعونا نوضح هذه الخطوات الثلاث في تجربة مثالية بسيطة. لقد قيل إن الذرة تتكون من نواة وإلكترونات تدور حول تلك النواة، وقد تم التصريح بأن مفهوم مدار الإلكترون هو موضع شك، في استطاعتنا أن نناقش بأنه ينبغي على الأقل، من حيث المبدأ، أن نلاحظ الإلكترون في مداره، فالمرء ينبغي ببساطة أن يلاحظ الذرة من خلال ميكروسكوب ذي قدرة عالية للغاية على التوضيح، إذن سيلاحظ المرء الإلكترون يتحرك في مداره. لا يمكن الحصول على هذه القدرة على التوضيح من ميكروسكوب يعمل بالضوء العادي، إذ لا يمكن البتة أن تقل عدم دقة الموضع عن طول موجة الضوء. في حين يمكن أن يقوم بهذا ميكروسكوبا يستخدم أشعة جاما مع طول موجة أصغر من حجم الذرة، هذا الميكروسكوب لم يتم تشييده بعد، إلا إن هذا لا يحول دون مناقشة التجربة المثالية.

هل الخطوة الأولى التى تقول بترجمة نتيجة الملاحظة إلـــى دالـــة احتمـــال ممكنة؟ هي ممكنة فقط إذا ما تم تحقيق علاقة اللايقـــين بعـــد الملاحظـــة. ســـيتم التعرف على موضع الإلكترون على نحو دقيق عبر طول موجة أشعة جامـــا، قـــد يكون الإلكترون عمليا في حالة سكون قبل الملاحظة. من ثم لا بد مـــن أن يـــتم تمرير ضوء كم واحد من الميكروسكوب عند الملاحظة، عندئـــذ لا بـــد مـــن أن ينحرف هذا الضوء من جانب الإلكترون أولاً، لذلك، يتم دفع الإلكترون من خلال ضوء الكم، فتتغير كمية حركته وسرعته، ويستطيع المرء أن يظهر أن لايقين هـــذا التغير هو من الضخامة بمكان بحيث يكفي ضمان صحة علاقات اللايقين. ومن ثم لا يوجد ثمة صعوبة مع الخطوة الأولى.

يمكن للمرء في الوقت ذاته، أن يرى بسهولة أنه ليس ثمة طريق لملاحظـــة مدار الإلكترون حول النواة. هنا تظهر الخطوة الثانية. حزمة أمـــواج لا تتحـــرك حول النواة بل بعيدا عن الذرة، ذلك لأن ضـــوء الأول قـــد تـــسبب فـــي إزاحـــة الإلكترون خارج الذرة، فإذا كان طول موجة أشعة جاما أصغر بكثير مـــن حجـــم الذرة، كانت كمية حركة كم الضوء لأشعة جاما أكثر بكثيـــر مـــن كميـــة حركـــة الإلكترون الأصلية. من ثم، فإن ضوء الكم الأول يكفي لإزاحة الإلكترون خـــارج الذرة، ولا يمكن للمرء مطلقًا أن يلاحظ أكثر من نقطة واحدة في مدار الإلكترون، وبالتالى لا يوجد مدار بالمعنى المألوف.أما الملاحظة التالية – الخطـــوة الثالثـــة – سوف يظهر الإلكترون في مساره خارج الذرة، بشكل عام ليس ثمة طريقة لوصف ما يحدث بين ملاحظتين متعاقبتين.

من المغري، بطبيعة الحال، أن الإلكترون لا بد من أن يكون في مكان مـــا بين الملاحظتين، وبالتالى لا بد للإلكترون من أن يوصف على أنه قد اتخذ مـــسارًا أو مدارًا حتى لو كان يبدو معرفة هذا المسار أمرًا مستحيلا. هـــذا مـــن شـــأنه أن يشكل حجة معقولة في الفيزياء الكلاسيكية، أما الأمر في نظرية الكم سيكون إساءة

لاستخدام اللغة التى، كما سنرى، لا يمكن تبريرها. يمكن أن نترك المجال مفتوحـًا في الوقت الراهن، سواء كان هذا التبرير عبارة عن الطريقة التي ينبغي التحدث بها عن الوقائع الذرية، أو عبارة عن الوقائع ذاتها، سواء كان هذا يشير إلى الإبستمولوجيا **Epistemology** أو الأنطولوجيا **Ontology**[*]. على أية حال علينا أن نكون حذرين للغاية بشأن صياغة أية عبارة تتعلق بسلوك الجسيمات الذرية.

بالفعل لسنا في حاجة، على الإطلاق، للحديث عن الجسيمات، ففي كثير من التجارب يكون أكثر ملائمة أن نتحدث عن موجات المادة مثلا، عن موجات المادة الثابتة حول النواة الذرية. مثل هذا الوصف يتناقض بشكل مباشر مع الوصف الآخر إذا لم نوجه اهتمامًا للقيود المفروضة من قبل علاقات اللايقين. من خلال هذه القيود يتم تفادي هذا التناقض. فعلى سبيل المثال، يعد من الملائم استخدام "موجات المادة" عند التعامل مع الإشعاع المنبعث من الذرة. فعن طريق تردداتها وشدة الإشعاع يمكن أن يتوفر لدينا معلومات عن توزيع الشحنة المتذبذة في الذرة، وهنا تصبح الصورة الموجية أقرب إلى الصدق مقارنة بالصورة الجسيمية، لذلك دعا بور إلى ضرورة استخدام الصورتين معًا وهذا ما أطلق علية بور "التتام" **Complementarity**. بطبيعة الحال لا يمكن الجمع بين هاتين الصورتين، لأن الشيء لا يمكن أن يكون جسيماً (أي مادة محددة في حجم صغير للغاية) وفي الوقت نفسه موجة (أي مجالاً منتشرًا على حيز كبير) إلا إن الصورتين يتمم كل منهما الآخر. وباللعب بهاتين الصورتين يمكننا التحرك من صورة إلى أخرى وبالعكس، حتى نصل في نهاية المطاف إلى انطباع صحيح للواقع الغريب وراء تجاربنا الذرية.

(*) الإبستمولوجيا مصطلح مؤلف من مقطعين يونانيين، يشير المقطع الأول **episteme** إلى العلم أو المعرفة العلمية، في حين يشير المقطع الثاني **logos** إلى الحديث أو النقد أو العلم، ومن ثم فهي تعني من الناحية الاصطلاحية الدراسة النقدية للعلوم، أو حديث نقدي في العلم، أما لالاند في معجمه فيعرف الإبستمولوجيا بقوله: هي الدراسة النقدية لمبادئ العلوم وفورضها ونتائجها للكشف عن قيمة وموضوعية العلوم وأصولها المنطقية.

أما مصطلح الأنطولوجيا فهو مؤلف أيضا من مقطعين يونانيين، يشير المقطع الأول **onto** إلى الوجود، أو المقطع الثاني **logos** يشير إلى العلم، ومن ثم يعني هذا المصطلح علم الوجود، الذي يدرس الوجود بما هو موجود، بعيدًا عن أي شكل من أشكال هذا الوجود. (المترجم)

يستخدم بور مفهوم "التتام " في مواضع عديدة لتفسير نظرية الكم. إن معرفة موضع الجسيم متمم لمعرفة سرعته أو كمية حركته، فإذا ما عرفنا أيهما بدقة أكبر، لا نتمكن من معرفة الآخر بنفس هذه الدقة، فما زال يتعين علينا أن نعرف كليهما لتحديد سلوك الجسيم. إن وصف الزمكان للوقائع الذرية متمم لوصفها الحتمي. فدالة الاحتمال تخضع لمعادلة الحركة تماما مثل الإحداثيات في الميكانيكا النيوتونية، حيث يتحدد تغيرها وفي سياق الزمن تمامًا عبر معادلة ميكانيكا الكم، إلا إنها لا تسمح بوصف للمكان والزمان من جهة أخرى. تفرض الملاحظة وصفا للمكان والزمان، إلا أنها تحدث قطيعة مع الاستمرارية الحتمية لدالة الاحتمال عبر تغيير معرفتنا لهذا النسق.

لم تعد هذه الثنائية بين وصفين مختلفين للواقع نفسه من الصعوبة بمكان، بخاصة أننا عرفنا من الصياغة الرياضياتية للنظرية بأن التناقضات لا يمكن أن تظهر، ومن ثم برزت الثنائية بوضوح بين الصورتين المتتامتين - الموجات والجسيمات - في مرونة النهج الرياضياتي، إن الصورية تظهر عادة بحيث تشبه الميكانيكا النيوتونية مع معادلات الحركة والإحداثيات وكمية حركة الجسيمات، ولكن يمكننا إعادة صياغتها، عن طريق تحويل بسيط بحيث تشبه معادلة موجيه لموجة مادة عادية ثلاثية الأبعاد، لذلك، فإن إمكانية اللعب بالصور المتتامة المختلفة لها نظيرها في التحولات المختلفة للنسق الرياضياتي، وهذا لا يؤدي إلى أية صعوبات في تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم.

إلا إن ثمة صعوبة حقيقية تظهر في فهم هذا التفسير، عندما يسأل المرء هذا السؤال الشهير: ما الذي يحدث "فعلا" في أي واقعة ذرية؟ سبق القول إنه يمكن صياغة آلية ونتائج ملاحظة ما في ضوء المفاهيم الكلاسيكية، بيد أن ما يستنبطه المرء من ملاحظة ما هو دالة احتمال، هو تعبير رياضياتي يجمع بين عبارات احتمال أو نزعات، وعبارات عن معرفتنا بالوقائع، لذلك لا يمكننا البتة أن نجعل

نتيجة ملاحظة ما موضوعية، ولا يمكن أن نصف ما "يحدث" بين هذه الملاحظة والملاحظة التى تليها، هذا يبدو كما لو أننا ندخل عنصرا من الذاتية في النظرية. كما لو كنا نعني ما نقول: إن ما يحدث يتوقف على طريقتنا في الملاحظة أو في الواقعة التى نلاحظها، لكن من الضروري قبل مناقشة مشكلة الذاتية أن نفسر لماذا يقابل المرء صعوبات جمة إذا حاول وصف ما يحدث بين ملاحظتين متتاليتين.

من الملائم لهذا الغرض أن نناقش التجربة المثالية التالية: نحن نفترض أن مصدرا صغيرًا لضوء آحادي اللون يشع تجاه حاجزًا أسود به ثقبان صغيران، ربما لا يكون قطر الثقبين أكبر بكثير من طول موجة الضوء، إلا إن المسافة بينهما ستكون أكبر بكثير، وعلى مبعدة من الحاجز هناك لوحة فوتوغرافية تسجل الضوء الساقط، إذا ما وصف المرء هذه التجربة بمصطلحات الصورة الموجية فيقول أن الموجة الأصلية تخترق من خلال الثقبين وتتداخل مع بعضها بعضا، هذا التداخل سينتج عنه نمط من الكثافة المتنوعة على اللوحة الفوتوغرافية.

إن اصطباغ اللوحة الفوتوغرافية باللون الأسود عملية كمية، هي تفاعل كيميائي ناتج عن كم الضوء الواحد، لذلك، لا بد من أن نتمكن أيضا من وصف التجربة بمصطلحات كمية الضوء. إذا كان من الجائز القول إن ما يحدث لكم الضوء الواحد فيما بين انباعثه من مصدر الضوء وامتصاصه في اللوحة الفوتوغرافية، فتكون الحجة على هذا النحو: يمر كم الضوء المفرد من خلال الثقب الأول أو من خلال الثقب الثاني، فإذا ما مر من خلال الثقب الأول فاستطار فإن احتمال امتصاصه عند نقطة معينة في اللوحة الفوتوغرافية لا يتوقف على ما إذا كان الثقب الثاني مغلقًا أم مفتوحاً. سيكون التوزيع الاحتمالي على اللوحة دون تغيير حتى لو كان الثقب الأول وحده هو المفتوح. فإذا ما تم تكرار التجربة عدة مرات وأخذ المرء كل الحالات التي مر فيها كم الضوء خلال الثقب الأول، فإن اصطباغ اللوحة باللون الأسود يكون نتيجة لهذه الحالات التي ستتطابق مع هذا التوزيع الاحتمالي الناشئ

عن الفرض بأن الثقب الثاني فقط هو المفتوح. لذلك فإن مجموع اللون الأسود يكــون حاصل جمع هذا اللون في الحالتين معًا، بعبارة أخرى، لا ينبغي أن يكون هناك نمط من التداخل، ولكننا نعلم أن هذا ليس صحيحًا، وستظهر التجربة نمط التداخل، لــذلك، فإن العبارة التي تقول إن أي كم ضوء لا بد من أن يمر إما من خلال الثقــب الأول أو من خلال الثقب الثاني هي عبارة إشكالية وتقودنا إلى تناقضات، يظهر هذا المثال بوضوح أن مفهوم دالة الاحتمال لا يسمح بوصف ما يحدث بين ملاحظتين، وأن أي محاولة لإيجاد مثل هذا الوصف من شأنه أن يؤدي إلى تناقــضات وهــذا يعنــي أن مصطلح "يحدث" يقتصر على الملاحظة.

حتى الآن، تبدو هذه نتيجة غريبة للغاية، إذ تبدو أنها تشير إلى أن الملاحظة تلعب دورًا في هذه الواقعة، إن هذا الواقع المتنوع يتوقف على ما إذا كنا نلاحظــه أم لا. لتوضيح هذه النقطة علينا أن نحلل عملية الملاحظة عن كثب.

من الأهمية بمكان أن نتذكر، بادئ ذي بدء، أننا لا نهتم في العلوم الطبيعيــة بالكون ككل، بما في ذلك أنفسنا، ولكننا نوجه اهتمامنا إلى جزء من الكون ونجعله موضوعًا لدراستنا، هذا الجزء عادة ما يكون في الفيزياء الذرية موضوعًا صغيرًا للغاية، قد يكــون جســيم ذري، أو مجموعة من الجسيمات قد تكون أكبر بكثيــر، لا يهم الحجم هنــا، لكن من المهم أن جــزءًا كبيرًا من الكون بما في ذلك أنفسنا، لا ينتمي إلى هذا الموضوع.

حتى الآن، يبدأ التفسير النظري لتجربة ما بخطوتين ناقشتهما من قبل، فــي الخطوة الأولى علينا أن نصف في النهاية ترتيب التجربة مع الملاحظــة الأولــى، بمصطلحات الفيزياء الكلاسيكية وترجمة هذا الوصف إلى دالة احتمال. تتبع دالــة الاحتمال هذه قوانين نظرية الكم، ومن الممكن حساب تغيرها في سياق الزمن، هذا التغير يكون مستمرًا، هذا الحساب يتم من خلال الشروط الأولية، وهذه هي الخطوة الثانية حيث تجمع دالة الاحتمال بين العناصر الموضوعية والذاتية، وتشتمل علــى

عبارات الاحتمال أو النزوع نحو الأفضل (أو ما يسمى في الفلسفة الأرسطية الوجود بالقوة) هذه العبارات تكون موضوعية تمامًا ولا تعتمد البتة على الملاحظ، وتشتمل على عبارات عن معرفتنا بالنسق، وهذا بطبيعة الحال يصطبغ بصبغة ذاتية بقدر ما يختلف من ملاحظ إلى آخر، في الحالات النموذجية، سنجد العنصر الذاتي في دالة الاحتمال غير ذات أهمية من الناحية العملية إذا قارناه بعنصر آخر موضوعي، وهذا ما يطلق عليه الفيزيائيون " حالة مجردة " **Pure Case**.

عندما نصل إلى الملاحظة التالية، وهي النتيجة التي ينبغي التنبؤ بها من النظرية، فمن المهم أن ندرك بالفعل أن موضوعنا هو أنه ينبغي أن نكون على صلة مع جزء آخر من العالم، أعني الترتيب التجريبي، قضيب القياس وهلم جرا. قبل لحظة الملاحظة أو على أقل تقدير عند هذه اللحظة، هذا يعني أن معادلة الحركة لدالة الاحتمال تتضمن الآن أثر التفاعل مع أداة القياس. هذا الأثر يقدم عنصرًا جديدا من عدم اليقين، لأن أداة القياس يتم وصفها بالضرورة بمصطلحات الفيزياء الكلاسيكية، هذا الوصف يتضمن كافة أوجه اللايقين المتعلقة بالتركيب الميكروسكوبي لهذه الأداة والتي نعرفها من الديناميكا الحرارية.

ونظرًا لأن هذه الأداة ترتبط مع بقية العالم، فإنها تتضمن، في حقيقة الأمر، لايقينيات التركيب الميكروسكوبي للعالم ككل، يمكن أن نعتبر، هذه اللايقينيات موضوعية لأنها ببساطة نتيجة للوصف بمصطلحات الفيزياء الكلاسيكية ولا تعتمد على الملاحظ. ويمكن اعتبارها ذاتية بقدر ما تشير إلى معرفتنا الناقصة عن العالم.

بعد أن يتم هذا التفاعل، فإن دالة الاحتمال تتضمن عنصرًا موضوعي النزعة، وعنصرا ذاتيًا للمعرفة الناقصة حتى ولو لم يتم تسجيل أي حالة مجردة من قبل، لهذا السبب لا يمكن التنبؤ عموما بنتيجة الملاحظة على وجه اليقين وما يمكن التنبؤ به هو احتمالية الحصول على نتيجة محددة للملاحظة، ويمكن التحقق من عبارة الاحتمالية هذه من خلال تكرار التجربة عدة مرات.

إن دالة الاحتمال لا تصف حادثة بعينها على الأقل في أثناء عملية الملاحظات، على عكس الإجراء الشائع في الميكانيكا النيوتونية - بل تصف مجموعة كاملة من الوقائع المحتملة .

تعتبر الملاحظة ذاتها دالة الاحتمال بشكل منفصل، فهي تختار من بين كل الوقائع المحتملة التي حدثت بالفعل، ولما كانت معرفتنا بالنظام من خلال الملاحظة قد تغيرت بشكل منفصل، فإن تمثيلها الرياضياتي سيشهد هو الآخر تغيرا منفصلاً، نحن نتحدث عن (قفزة الكم) عندما نستخدم هذا القول القديم المأثور "إن الطبيعة لا تتحرك في قفزات" لنقد نظرية الكم، عندئذ سيكون في مقدورنا الرد بالتأكيد أن معرفتنا يمكن أن تتغير بشكل فجائي، وهذا يبرر حقيقة استخدامنا لمصطلح " قفزة الكم".

لذلك يتم الانتقال من "الممكن" إلى "الفعلي" في أثناء عمل الملاحظة، فإذا ما أردنا وصف ما يحدث في واقعة ذرية، علينا أن ندرك أن كلمة "يحدث" تنطبق فقط على الملاحظة، وليس على العلاقات بين ملاحظتين.. فهي تنطبق على الفعل المادي للملاحظة وليس على النفسي. ويمكن القول إن هذا الانتقال من "الممكن" إلى "الفعلي" يتم بمجرد تفاعل الشيء وأداة القياس ومن ثم مع باقي العالم، مع الأخذ في الاعتبار أنه لا يوجد أي ارتباط مع ما سجله الملاحظ بعقله من نتيجة. إن التغير المنفصل في دالة الاحتمال يتم مع فعل التسجيل، ذلك لأن التغير المنفصل لمعرفتنا في لحظة التسجيل هو ما ينعكس في التغير المنفصل لدالة الاحتمال.

في آخر المطاف إلى أي مدى إذن قد وصلنا إلى وصف موضوعي للعالم، بخاصة العالم الذري؟ يبدأ العلم في الفيزياء الكلاسيكية من اعتقاد - أو من وهم اعتقاد- أنه يمكننا أن نصف العالم أو على الأقل أجزاء منه دون أية مرجعية لذواتنا، هذا بالطبع ممكن إلى حد كبير. نحن نعرف بوجود مدينة لندن سواء رأيناها أو لا. يمكن القول أن الفيزياء الكلاسيكية قد جعلت من نفسها مثالية عندما تتحدث عن أجزاء من العالم دون مرجعية من ذواتنا. وقد أدى نجاحها إلى مثال

عام لوصف موضوعي للعالم. غدت الموضوعية المعيار الأول لقيمة أي نتيجة علمية، فهل ما زال تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم يأخذ بهذا النموذج؟ ربما يقول المرء إن نظرية الكم تتطابق مع هذا النموذج إلى أقصى حد ممكن، بالتأكيد لا تحتوي نظرية الكم على سمات ذاتية حقيقية، فهي لا تضع عقل الفيزيائي باعتباره جزءا من الواقعة الذرية، بل تبدأ في تقسيم العالم إلى "موضوع" وبقية العالم، في حقيقة الأمر نحن نستخدم المفاهيم الكلاسيكية، على الأقل في وصفنا لبقية العالم. هذا التقسيم هو إجراء تعسفي وهو نتيجة تاريخية مباشرة لمنهجنا العلمي، واستخدامنا للمفاهيم الكلاسيكية هو في نهاية المطاف نتيجة لطريقتنا العامة في التفكير. بيد أن هذا يمثل بالفعل مرجعية لذواتنا. إلى هذا الحد لا يكون وصفنا موضوعيًا بشكل كامل.

لقد ذكرنا منذ البداية أن تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم يبدأ من مفارقة، يبدأ من حقيقة أننا نصف تجاربنا بمصطلحات الفيزياء الكلاسيكية، وفي الوقت ذاته نعرف أن هذه المفاهيم لا تتلائم مع الطبيعة بشكل دقيق. وأن التوتر بين نقطتي البداية هاتين هو مصدر السمة الاحصائية لنظرية الكم. لذلك، يطرأ على بال المرء أحيانًا أنه ينبغي أن ينصرف عن المفاهيم الكلاسيكية تماما، وأن تغيرا جذريًا في المفاهيم المستخدمة في وصف التجارب قد يؤدي إلى احتمال العودة مرة أخرى إلى وصف الطبيعة وصفًا موضوعيا تماما وغير إحصائي.

بيد أن هذا الاقتراح مبني على سوء فهم، فمفاهيم الفيزياء الكلاسيكية هي مجرد تنقيح لمفاهيم الحياة اليومية، وهي جزء جوهري من اللغة التي تشكل أساس كل العلوم الطبيعية. نحن نستخدم المفاهيم الكلاسيكية لوصف التجارب في موقفنا الواقعي في العلوم، وقد كانت مشكلة نظرية الكم هي إيجاد تفسير نظري للتجارب على هذا الأساس. ليس ثمة فائدة من مناقشة ما الذي يمكن عمله لو كنا كائنات أخرى غير ما نحن عليه، عندئذٍ يجب أن ندرك كما قال فون فايتسيكر **Weizsäcke**

"إن الطبيعة أقدم من الإنسان، بيد أن الإنسان أقدم من العلوم الطبيعية" يبرر الجزء الأول من العبارة الفيزياء الكلاسيكية ومثلها الأعلى المتعلق بالموضوعية الكاملة، في حين يخبرنا الجزء الثاني لماذا لا نقدر على الفرار من مفارقة نظرية الكم، أعني ضرورة استخدام المفاهيم الكلاسيكية.

علينا أن نضيف بعض التعليقات على الإجراء الواقعي في التفسير الكمي النظري للوقائع الذرية. لقد قيل دائمًا إننا نبدأ من تقسيم العالم إلى شيء، الذي نحن بصدد دراسته، وبقية العالم، هذا التقسيم تعسفي إلى حد ما، وينبغي حقًا أن النتيجة النهائية لن تتغير إذا أضفنا على سبيل المثال جزءًا من أداة القياس أو أداة القياس بأكملها على الشيء وقمنا بتطبيق قوانين نظرية الكم على هذا الشيء الأكثر تعقيدًا. يمكن أن نستعرض هنا أن مثل هذا التعديل في المعالجة النظرية لن يغير من التنبؤات المتعلقة بالتجربة المعطاة. هذا ينتج رياضياتيًا من الحقيقة التي تقول إن قوانين نظرية الكم تكاد تتطابق بشكل تقريبي مع القوانين الكلاسيكية بالنسبة للظواهر التي يمكن اعتبار ثابت بلانك فيها مقدارًا ضئيلاً للغاية. لكن من الخطأ أن نعتقد أن تطبيق قوانين نظرية الكم على أداة القياس قد يساعد على تفادي المفارقة الجوهرية لنظرية الكم.

تستحق أداة القياس هذا الاسم إذا كانت على صلة وثيقة ببقية العالم، إذا كان ثمة تفاعل بين الأداة والملاحظ، لذلك فإن اللايقين بالنسبة للسلوك الميكروسكوبي للعالم سيدخل إلى نسق الكم – النظري كما هو الحال أيضًا في التفسير الأول، إذا كان سيتم عزل أداة القياس عن بقية العالم فلن يكون هناك أداة قياس ولا يمكن أن يكون ثمة وصف بمصطلحات الفيزياء الكلاسيكية البتة.

أكد بور – فيما يتعلق بهذا الموقف، أن الأكثر واقعية أن نقرر أن التقسيم إلى شيء وبقية العالم ليس تقسيمًا تعسفيًا. بل إن موقفنا الواقعي في العمل البحثي داخل الفيزياء الذرية عادة ما يكون هكذا: نحن نرغب في فهم ظاهرة محددة، كما

نرغب في إدراك كيف أن هذه الظاهرة تتبع من القوانين العامة للطبيعة. لذلك فـــإن هذا الجزء من المادة أو الإشعاع الذي يشترك في الظاهرة، هو "الشيء" الطبيعـــي في المعالجة النظرية والذي ينبغي أن ينفصل، فـــي هـــذا الـــصدد، عـــن الأدوات المستخدمة في دراسة الظاهرة. هذا يؤكد مرة أخرى على العامل الذاتي في وصف الوقائع الذرية، فلأن أداة القياس هي من تصميم الملاحظ، وعلينا أن نتذكر أن مـــا نلاحظه ليس هو الطبيعة ذاتها، وإنما الطبيعة التي تتكشف لمناهجنا الإســـتجوابية. يتكون عملنا العلمي في الفيزياء من طرح تساؤلات حول الطبيعة باللغة التي نملكها ونحاول الحصول على الإجابة من التجربة بالوسائل المتاحة لنا. تذكرنا نظرية الكم بهذه الطريقة التي وضعها بور، بالحكمة القديمة وهي "لا يجب على المرء الباحث عن التناغم في الحياة أن ينسى البتة أننا في خضم دراما الوجود نكـــون الممثلـــين والمتفرجين معًا". ومن المفهوم بطبيعة الحال في علاقتنـــا العلميـــة بالطبيعـــة، أن يصبح لنشاطنا الخاص أهمية عندما نتعامل مع أجزاء الطبيعة، عندما يكـــون فـــي مقدورنا اختراقها فقط باستخدام أكثر الأدوات إحكامًا.

.

٤ـ نظرية الكم وجذور العلوم الذرية

يعود مفهوم الذرة إلى أبعد بكثير من بداية العلم الحديث في القرن السابع عشر، حيث تمتد أصوله إلى الفلسفة اليونانية القديمة. فقد تم تدشين المفهوم الرئيسي للمادية في تلك الحقبة المبكرة من قبل لوقيبوس **Leucippus** وديمقريطس **Democritus** من جهة أخرى، فإن التفسير الحديث للوقائع الذرية لا يكاد يتشابه مع الفلسفة المادية الحقيقية، بل يمكن القول، إن الفيزياء الذرية انحرفت بالعلم بعيدا عن النزعة المادية في غضون القرن التاسع عشر. لذلك سيكون من المفيد أن نقارن تطور الفلسفة اليونانية نحو مفهوم الذرة مع الوضع الحالي لهذا المفهوم في الفيزياء الحديثة.

ظهرت لأول مرة فكرة أصغر وحدة بناء لا تنقسم من المادة مرتبطة بتطوير مفاهيم المادة والوجود والصيرورة، التي ميزت الحقبة الأولى للفلسفة اليونانية، هذه الحقبة التي بدأت في القرن السادس ق.م. مع طاليس **Thales** مؤسس المدرسة الملطية، الذي نسب إليه أرسطو عبارته "إن الماء أصل كل الأشياء". على الرغم من هذه العبارة تبدو غريبة بالنسبة لنا؛ فإنها تعبر، كما أعرب عن ذلك نيتشه، عن ثلاث أفكار أساسية في الفلسفة: الأولى، السؤال عن العلة المادية للأشياء، الثانية، الحاجة إلى الإجابة عن هذا السؤال بطريقة تتوافق مع المنطق العقلاني ودون اللجوء إلى الأساطير أو التصوف، الثالثة، المسلمة القائلة بأنه لا بد من أن نتمكن، في نهاية المطاف، أن نرد كل شيء إلى مبدأ واحد. كانت عبارة طاليس أول تعبير عن فكرة الجوهر الأولى الذي تصدر عنه كل الأشياء العابرة الأخرى، بالتأكيد، إن كلمة الجوهر في هذا العصر لم تكن تفسر بالمعنى المادي الخالص الذي نعزوه إليها في كثير من الأحيان اليوم، كانت الحياة مرتبطة

أو كامنة في هذا "الجوهر". فقد نسب أرسطو أيضا لطاليس قوله "إن كل الأشـــياء مليئة بالآلهة" ما زلنا في سياق السؤال الذي طرح عن العلة المادية لكل الأشـــياء، بيد أنه ليس من الصعوبة أن نتصور أن طاليس قد أخذ بهذه الوجهة مـــن النظـــر لاهتمامه، في المقام الأول بالأرصاد الجوية، نعرف أن الماء من بين كل الأشـــياء الذي يتخذ أشكالا متنوعة، فقد يتخذ في الشتاء صورة الثلج أو الجليد، ويمكـــن أن يتحول إلى بخار، ويمكن أن يتشكل ليأخذ شكل السحب، ويبدو أنه يتحول إلى تراب حيث تشكل الأنهار دلتاه، فضلا عن كونه ينبع من الأرض. إن الماء شرط الحياة، لذلك، فإذا كان ثمة جوهر أولى، فمن الطبيعي أن نفكر في الماء أولا.

لقد تم دفع الجوهر الأولى للأمام عن طريق أنكـــسيماندر **Anaximander**، الذي كان تلميذا لطاليس وعاش في المدينة نفسها، أنكـــر أنكـــسيماندر أن يكـــون الجوهر الأولى الماء أو أيا من الجواهر المعروفة، قال بـــأن الجـــوهر الأول هـــو اللانهائي، الأبدي السرمدي الذي يحوي العالم، هذا الجوهر الأولـــى يتحـــول إلـــى جواهر أخري مألوفة بالنسبة لنا، يورد ثيوفراستوس(*) اقتباس من أنكسيماندر يقول فيه: "إن الأشياء تتحلل مرة أخرى إلى الشكل الذي نشأت عنه، هذا قـــدرها، ذلـــك لأنها تعوض وترضي بعضها بعضا تكفيرا عن ما ارتكبته من ظلم وفقًا للترتيـــب الزمني". سنجد في هذه الفلسفة أن نقـــيض الوجـــود والـــصيرورة يلعـــب الـــدور الرئيسي، حيث ينحل الجوهر الأول اللانهائي والسرمدي، الوجود اللامتمايز إلـــى أشكال عديدة والتي بدورها تؤدي إلى صراعات لا تنتهي. تعتبر عملية الصيرورة نوعًا من المهانة للوجود اللامتناهي – ينحل إلى الصراع السرمدي الذي يتم التكفير عنه بالعودة إلى صورة هلامية دون شكل أو صفة.

(*) ثيوفراستوس **Theophrastus** فيلسوف يوناني أطلق عليه أستاذه أرسطو هذا الاسم الذي يعني باليونانية "المتكلم الإلهي". أما اسمه الحقيقي فكان تيرتانوس.(المترجم)

إن الصراع المعني هنا هو صراع بين الساخن والبارد، بين النار والماء، بين الرطب والجاف وهلم جرا. أما الانتصار المؤقت لأحدهما على الآخر يكمن في الظلم الذي يجعلهم في نهاية المطاف يقدمون إصلاحا في تسلسل زمني. وفقا لأنكسماندر، هناك حركة أزلية، خلق وفناء للعوالم من اللامتناهي إلى اللامتناهي.

قد يكون من المثير للاهتمام أن نلاحظ في هذه المرحلة أن مشكلة ما إذا كان الجوهر الأول أحد الجواهر المعروفة، أم لا بد من أن يكون شيئا مختلفا تماما – تظهر هذه المشكلة في صورة مختلفة في الجزء الأكثر حداثة في الفيزياء الذرية. يحاول الفيزيائيون اليوم إيجاد قانون أساسي لحركة المادة بحيث يمكن أن نستمد منه رياضيا كل الجسيمات الأولية وخصائصها، ربما تشير هذه المعادلة الأساسية للحركة إلى موجات من نوع معروف، موجات بروتون وميزون، أو إلى موجات ذات طابع مختلف أساسا، لا علاقة له بأي موجات معروفة أو جسيمات أولية. يعني هذا في الحالة الأولى، أن كل الجسيمات الأولية الأخرى يمكن ردها بطريقة ما إلى أنواع قليلة من الجسيمات الأولية "الجوهرية". اتبعت الفيزياء النظرية، في حقيقة الأمر، خلال العقدين الماضيين هذا النوع من البحث. أما في الحالة الثانية يمكن رد كل الجسيمات الأولية المختلفة إلى جوهر كلي ما نطلق عليه الطاقة أو المادة. ولكن لا أحد من الجسيمات الأولية يمكن أن يفضل نفسه على الآخرين كونه أكثر جوهرية، هذا الرأي الأخير يتطابق، بطبيعة الحال، مع عقيدة أنكسيماندر. وأنا على قناعة من صحة وجهة النظر هذه في الفيزياء الحديثة، بل دعونا الآن نعود إلى الفلسفة اليونانية.

أما ثالث الفلاسفة الملطيين، فكان أنكسيمينس **Anaximenes**، زميل أناكسيماندر، من تعاليمه أن الهواء هو الجوهر الأولى، فإذا كانت نفوسنا، وهي هواء، مصدر وحدتنا، فإن النسمة والهواء تطوقان العالم بأسره، يقدم أنكسيمينس فكرة في الفلسفة الملطية مؤداها، أن عملية التكثيف والخلخلة تسبب تحول الجوهر الأول إلى مواد أخري، كان تكثيف بخار الماء إلى سحب هو المثال الواضح، بطبيعة الحل لم يكن يعرف الفرق بين بخار الماء والهواء في ذلك الوقت.

يشغل مفهوم الصيرورة مكانا رئيسيا في فلسفة هرقليطس **Heraclitus** الذي ينتمي إلى مدينة أفسوس، فقد اعتبر أن ما يتحرك، النار، هو العنصر الجوهري، وتكمن الصعوبة هنا في محاولة التوفيق بين فكرة المبدأ الجوهري الواحد والتنوع اللانهائي من الظواهر، كان الحل بالنسبة له الاعتراف أن صراع الأضداد هو في حقيقة الأمر نوعا من الانسجام. لأول وهلة، يبدو العالم بالنسبة لهرقليطس واحد ومتعدد، هو مجرد توتر معاكس " من الأضداد وهو ما يشكل وحدة الواحد، يقول: "يجب أن نعرف أن الحرب عامة تسري على كل شيء، وأن الصراع هو العدالة، وأن جميع الأشياء تأتي إلى حيز الوجود وتزول بالصراع".

إذا ما عدنا إلى الوراء للنظر في تطور الفلسفة اليونانية في هذه اللحظة، سيدرك المرء أنها كانت تحمل، منذ بدايتها وحتى هذه الحقبة، توترا بين الوحدة والكثرة. يتكون العالم، بالنسبة لحواسنا، من تنوع لانهائي من الأشياء والأحداث والألوان والأصوات، ولكي نفهم هذا علينا أن نقدم نوعا ما من النظام، والنظام يعني أن ندرك ما هو متساو، يعني نوعا من الوحدة. من هنا ينبثق الاعتقاد أن ثمة مبدأ جوهريًا واحدًا، وفي الوقت نفسه هناك صعوبة أن ينبثق عن هذا الواحد التنوع اللانهائي من الأشياء. إن وجود علة مادية لكل الأشياء كان نقطة بداية طبيعية لأن العالم يتألف من مادة. بيد أن المرء الذي يتحمل فكرة الوحدة الجوهرية إلى مداها المتطرف فإنه يصل إلى الوجود اللانهائي الأزلي اللامتميز، وبالتالي لا يستطيع بذاته – سواء كان ماديا أم لا – أن يفسر التنوع اللانهائي للأشياء، وهذا أدي بدوره إلى التضاد بين الموجود والصيرورة، وفي نهاية المطاف جاء حل هرقليطس وهو أن التغير في ذاته هو المبدأ الجوهري، أو كما قال عنه صفوة الشعراء: "التغير الخالد الذي يجدد العالم "، إلا إن التغير في حد ذاته ليس علة مادية وبالتالي تمثل النار في فلسفة هرقليطس عنصرًا جوهريًا، فالنار هي المادة وهي القوة المحركة معًا.

قد نلاحظ في هذه المرحلة أن الفيزياء الحديثة، بطريقة ما، تقترب للغاية من عقائد هرقليطس، فإذا ما استبدلنا بكلمة "النار" كلمة "الطاقة". فربما كررنا عباراته كلمة كلمة من وجهة نظرنا الحديثة، فالطاقة في حقيقة الأمر جوهر، والذي منه تصنع كل الجسيمات الأولية وكل الذرات ومن ثم كل الأشياء، والطاقة هي التي تتحرك، الطاقة جوهر، لأن مقدارها لا يتغير، ومن الممكن بالفعل أن تتكون الجسيمات الأولية من هذا الجوهر كما وجدنا في العديد من التجارب على تخليق الجسيمات الأولية، من الممكن تحويل الطاقة إلى حركة وإلى حرارة وإلى ضوء وإلى جهد، يمكن أن نطلق على الطاقة بأنها العلة الجوهرية لكل تغير في العالم بيد أن مناقشة هذه المقارنة بين الفلسفة اليونانية وأفكار العلم الحديث ستكون لاحقًا.

عادت الفلسفة اليونانية في فترة ما إلى مفهوم الواحد في تعاليم بارميندس **Parmenides** الذي عاش في إيليا جنوب إيطاليا، كانت مساهمته الأكثر أهمية بالنسبة للفكر اليوناني، أنه قدم حجة منطقية خالصة في الميتافيزيقا. لا يمكن للمرء معرفة اللاوجود لأنه مستحيل، ولا يمكنه التعبير عنه باللغة، ذلك أن ما يمكن التفكير فيه هو ما يوجد: إذن، الذي يوجد فقط هو الواحد ولا يوجد ثمة صيرورة أو فناء، رفض بارميندس وجود الفراغ لأسباب منطقية. ولما كان كل تغير يتطلب فراغا، كما يفترض، فقد رفض أن يكون التغير ضربا من الوهم.

إن الفلسفة لم تركن طويلاً عند هذه المفارقة، فقد غير أنبادوقليس **Empedocles**، من الساحل الجنوبي لصقليا، للمرة الأولى من الواحدية إلى نوع من التعددية، ولكي يتجنب هذه الصعوبة قال بأنه لا يمكن للواحد أن يفسر تنوع الأشياء والوقائع، فقد افترض أربعة عناصر أساسية هي التراب والماء والهواء والنار، تجتمع العناصر معا وتنفصل بفعل الحب والبغض، أما الحب والبغض، فيمكن معالجتهما، في كثير من الأحيان، على أساس كونهما ماديين، تماما مثل العناصر الأربعة الأخرى، فهما المسؤولان عن التغير الخالد. يصف أنبادوقليس

تشكل العالم في الصورة التالية: في البدء كان هناك عالم واحد لا متناه، كما في فلسفة بارميندس. وقد اندمجت العناصر الأربعة في جوهر واحد عن طريق الحب، وعندما مات الحب وأتت البغضاء انفصلت العناصر جزءًا جزءًا، بعد ذلك انفصلت كل العناصر وخرج الحب من العالم، وفي النهاية، جمع الحب مرة أخري العناصر معا وماتت البغضاء لكي نعود ثانية إلى العالم الأصلي.

يمثل مذهب أنبادوقليس تحولا واضحا نحو النظرة الأكثر مادية في الفلسفة اليونانية. فالعناصر الأربعة ليست مبادئ أولية بل هي جواهر مادية، وهنا لأول مرة يتم التعبير عن الفكرة التي تقول بمزج وفصل بضعة جواهر، والتي هي مختلفة اختلافا جوهريا، هذه الفكرة تفسر التنوع اللانهائي للأشياء والأحداث. لا يلجأ إلى هذه التعددية أولئك الذين تعودوا أن يفكروا في المبادئ الأولية، إلا إنها تمثل حلاً وسطًا وجيهًا يتفادى صعوبة الواحدية ويسمح بتأسيس نظام ما.

كانت الخطوة التالية نحو مفهوم الذرة من وضع أنكساجوراس **Anaxagoras** الذي كان معاصرًا لأنبادوقليس، عاش في أثينا ما يقرب من ثلاثين عاما، ربما في النصف الأول من القرن الخامس ق.م.، يؤكد أنكساجوراس على فكرة المزج، وعلى الفرض القائل أن سبب كل تغير هو المزج والفصل، إلى جانب افتراض وجود تنوع لا نهائي للبذور التي لا حصر لها والمتناهية في الصغر والتي تتألف منها كل الأشياء. لا تشير هذه البذور إلى العناصر الأربعة لأنبادوقليس، فهناك عدد لا يحصى من البذور المختلفة، إلا إن هذه البذور قد امتزجت معًا وانفصلت مرة أخري، وبهذا يحدث التغير. يسمح مذهب أنكساجوراس لأول وهلة بتفسير هندسي لمصطلح "المزج" فلما كان يتحدث عن بذور متناهية الصغر، فمن الممكن تصور مزيجٍ من نوعين من الرمال يختلفان في اللون. وقد تختلف البذور في العدد وفي مواضعها النسبية. يفترض أنكساجوراس أن البذور توجد في كل شيء. يقول: "كل

الأشياء توجد في كل شيء وليس في إمكانها أن تبتعد، لأن في كل شيء جزء من كل شيء". إن الكون عند أنكساجوراس لا يتحرك عن طريق الحب والبغض كما عند أنبادوقليس، بل عن طريق "النوس" **Nous** الذي يمكن ترجمته "بالعقل".

لم يكن لهذه الفلسفة للوصول لمفهوم الذرة سوى خطوة واحدة، ظهرت هذه الخطوة مع لوقيبوس وديمقريطس من أبديرا، تحول نقيض الموجود واللاموجود في فلسفة بارميندس إلى نقيض "الامتلاء" و"الخواء". فالموجود ليس وحدة واحدة، حيث يمكن أن يتكون عددًا لا نهائيا من المرات، إنها الذرة أصغر وحدة من المادة لا تنقسم. الذرة أزلية لا يمكن إتلافها، ولها حجمًا محدودًا، فتصبح الحركة ممكنة من خلال الفضاء الفارغ بين الذرات، وهكذا ولأول مرة في التاريخ يظهر صوت معبر عن فكرة وجود جسيمات متناهية الصغر، والتي نطلق عليها "الجسيمات الأولية" باعتبارها وحدات بناء أساسية للمادة.

وفقا لهذا المفهوم الجديد للذرة، لا تتكون المادة فقط من "الامتلاء" بل أيضًا من "الخواء" الفضاء الفارغ الذي تتحرك فيه الذرات، لقد تم تجاهل اعتراض بارميندس ضد الخواء والذى يقضى بأن غير الموجود لا يعتبر موجودًا، لأنه ببساطة تجاهل الاستجابة للخبرة. يمكن القول من وجهة نظرنا الحديثة إن الفضاء الفارغ بين الذرات لم يكن عدمًا في فلسفة ديمقريطس، بل يحمل الهندسة والحركة، وهذا الذي يجعل ترتيب الذرات وحركتها ممكنة، إلا إن إمكانية الفضاء الفارغ دائمًا ما تمثل إشكالاً مثيرًا للجدل في الفلسفة. كانت إجابة نظرية النسبية العامة أن الهندسة نتاج المادة أو أن المادة نتاج الهندسة، هذه الإجابة تتطابق بشكل وثيق مع وجهة النظر التي أخذ بها العديد من الفلاسفة، وهي أنه يتم تعريف الفضاء عن طريق امتداد المادة، بيد أن ديمقريطس تجاوز هذه الوجهة من النظر ليجعل التغير والحركة ممكنين.

كانت ذرات ديمقريطس كلها من نفس الجوهر، لها صفة الوجود، بيد أن لها أحجامًا وأشكالاً مختلفة وتوصف بأنها قابلة للانقسام بالمعنى الرياضياتى وليس المادي. كما يمكن للذرات أن تتحرك وأن تشغل مواضع مختلفة في الفضاء، لكن ليس لها خصائص مادية أخرى، فهي ليس لها لون أو رائحة أو طعم، يفترض أن خصائص المادة التي ندركها بحواسنا هي نتاج حركات وأوضاع الذرات في الفضاء. تمامًا مثلما نكتب التراجيديا والكوميديا باستخدام نفس الحروف الأبجدية. ندرك التنوع الهائل من أحداث هذا العالم من خلال نفس الذرات ومن خلال ترتيباتها وحركاتها المختلفة. أثبتت الهندسة والحركة، اللتان من المحتمل أن يكونا قد نتجا عن الخواء، أن لهما أهمية أكبر بطريقة ما مقارنة بالوجود الخالص. لقد قال ديمقريطس في هذا الاقتباس: "قد يظهر الشيء ويكون له لون، ويظهر الشيء ويكون له حلاوة أو لذوعة، لكن الذرات والفضاء الخواء هما فقط من لهما وجودًا حقيقيًا".

أما الذرات في فلسفة لوقيبوس فهي لا تتحرك بالصدفة. يبدو أن لوقيبوس يعتقد في الحتمية الكاملة، فقد كان معروفا بقوله: "يحدث العدم من لا شيء، بيد أن كل شيء يأتي من السبب والضرورة "لا يقدم الذريون أي علة للحركة الأصلية للذرات، ذلك يوضح لماذا اعتقدوا في الوصف السببي للحركة الذرية، السببية التي يمكن أن تفسر الأحداث اللاحقة عن طريق الأحداث السابقة، إلا إنها لا يمكن البتة أن تفسر البداية.

تبنى الفلاسفة اليونانيون، فيما بعد، الأفكار الأساسية للنظرية الذرية وأدخلوا عليها تعديلات جزئية. مقارنة مع الفيزياء الذرية الحديثة يجدر بنا أن نشير إلى تفسير المادة عند أفلاطون من خلال محاورته "تيماوس"(*). لم يكن

(*) "تيماوس" إحدي محاورات أفلاطون حيث يصور فيها تكوين العالم، وتيماوس هذا شخصية تمثل فكر الفيثاغورين، الذين يعتقدون أن العالم قد تشكل وفق مبادئ عقلية رياضياتية خالصة. (المترجم)

افلاطون فيلسوفا ذريا، بل على العكس، يذكر ديوجينس لبريشيوس أن أفلاطون كان يبغض ديمقريطس كثيرا، وكم تمنى أن تحرق كل كتبه. بيد أن بعضا من أفكار أفلاطون لو اجتمعت تكون قريبة من المذهب الذري مع مذاهب المدرسة الفيثاغورية وتعاليم أنبادوقليس.

كانت المدرسة الفيثاغورية فرعا من الأورفية(*) التي ترجع إلى تأليه الارتباط بين الدين والرياضياتية التي كان لها آنذاك أثر كبير على الفكر البشري. لقد ارتأى الفيثاغوريون أن أول شيء يمكن إدراكه هو تلك القوة الخالقة الكامنة في الصيغ والرياضياتية، فاكتشافهم أن صوت الوترين ينسجمان إذا كانت النسبة بين طولهما نسبة بسيطة، وهذا يبرهن على أن الرياضيات يمكن أن تكون وسيلة لفهم الظواهر الطبيعية، لا توجد ثمة مشكلة بالنسبة للفيثاغورين حول عملية الفهم، كانت النسبة والرياضياتية البسيطة بين أطول الأوتار هي التي تخلق الانسجام في الصوت. كان ثمة الكثير من التصوف في مذاهب المدرسة الفيثاغورية التي تبدو لنا صعبة الفهم. جعل الفيثاغوريون الرياضيات جزءًا من دينهم، كما أنهم تطرقوا إلى نقطة جوهرية في تطور الفكر البشري، يمكن أن أقتبس هذه العبارة من برتراندرسل تتعلق بفيثاغورس: "لم أعرف أي إنسان آخر كان له هذا التأثير في مجال الفكر كما لفيثاغورس".

كان أفلاطون على علم من اكتشاف الفيثاغورين للمجسمات الصلبة المنتظمة وإمكانية الجمع بينها وبين عناصر أنبادوقليس. كما ناظر بين أصغر الأجزاء البسيطة لعنصر التراب بالمكعب، وعنصر الهواء بالمجسم الثماني، وعنصر النار بالمجسم الرباعي وعنصر الماء بالمجسم ذي الوجوه العشرين، لا يقول أفلاطون هنا سوى: "لا يزال هناك مركب خامس استخدمه الإله في رسم خطوط هذا الكون".

(*) الأورفية مذهب ينتمي إلى شاعر قديم يدعي أورفيوس. تروي عنه الأساطير انه استطاع أن يحرك الجماد بقوة أشعاره وسحر غنائه، فاستمد الفيثاغوريون منه كثيرا من الموسيقي وأصولها، والقول بتناسخ الأرواح. (المترجم)

فإذا كان من الممكن أصلاً أن نعقد مقارنة بين الذرات والمجسمات المنتظمة التي تمثل العناصر الأربعة، فقد أوضح أفلاطون أن هذه المجسمات المنتظمة غير قابلة للانقسام. أقام أفلاطون المجسمات المنتظمة على مثلثين قاعديين هما المثلث المتساوي الأضلاع، والمثلث المتساوي الساقين، واللذين شكلا معا سطح المجسمات. ومن ثم يمكن للعناصر أن تتحول إلى بعضها البعض (على الأقل جزئيًا)، يمكن تفكيك المجسمات المنتظمة إلى مثلثات، وأن تتشكل منها مجسمات منتظمة جديدة. فعلى سبيل المثال من الممكن أن يتفكك الجسم الرباعي ومجسمان ثمانيان إلى عشرين مثلث متساوي الأضلاع، والتي يمكن ضمها معا لتشكل مجسمًا ذا عشرين وجه. هذا يعني أن ذرة واحدة من النار وذرتين من الهواء يمكن أن يجتمعا لإعطاء ذرة واحدة من الماء. إلا إن المثلثات الأساسية لا يمكن اعتبارها مادة، كونها ليس لديها امتداد في الفضاء، ولا يتم خلق وحدة من المادة إلا إذا وضعت المثلثات لتشكل معًا مجسمًا منتظماً. إن أصغر أجزاء المادة في فلسفة ديمقريطس ليست موجودات جوهرية، بل هي صور رياضية، يبدو جليا هنا أن الصورة أهم بكثير من الجوهر التي هي صورة له.

بعد إلقاء نظرة شاملة سريعة على الفلسفة اليونانية حتى تشكيل مفهوم الذرة. دعونا نرجع إلى الفيزياء الحديثة لنطرح سؤالاً: كيفية مقارنة وجهة نظرنا الحديثة في الذرة ونظرية الكم – تشير كلمة "الذرة" تاريخيا إلى الشيء الخطأ في الفيزياء والكيمياء الحديثة. أما خلال إحياء العلوم في القرن السابع عشر فكانت أصغر الجسيمات ينتمي إلى ما يسمي بالعنصر الكيميائي والذي كان يمثل نظامًا معقدًا إلى حد ما من وحدات أصغر، تسمي اليوم بالجسيمات الأولية. بدا واضحا أن أي شيء في الفيزياء الحديثة ينبغي مقارنته بذرات ديمقريطس وبالجسيمات الأولية مثل البروتون والنيترون والإلكترون والميزون.

كان ديمقريطس على وعي تمامًا بحقيقة أنه من الممكن للذرات، عن طريق حركتها وترتيبها، أن تفسر خصائص المادة، اللون والرائحة والطعم، إلا إنهـا لا تمتلك هي ذاتها هذه الخصائص، لذلك أخذ ديمقريطس في تجريد الذرة مـن هـذه الخصائص فأصبحت الذرة، بالأحرى، مجرد قطعة مجردة مـن المـادة، بيـد أن ديمقريطس ترك للذرة خاصية "الوجود" خاصية الامتداد فـي الفـراغ، والـشكل والحركة، لقد أبقي على هذه الخصائص لصعوبة التحدث عن الذرة على الإطلاق، إذا تم تنحية هذه الصفات جانبا عنها، بيد أن هذا يعني من جهة أخرى، أن مفهومه عن الذرة لا يفسر الهندسة والامتداد في الفضاء أو الوجود لأنها لا يمكن ردها إلى شيء ما أكثر جوهرية. إن وجهة النظر الحديثة فيما يتعلق بالجسيم الأولـي تبـدو أكثر اتساقا وراديكالية. دعونا نناقش هذا السؤال: ما الجسيم الأولي؟ نقول ببـساطة مثلا "نيترون"، ولكن لا نعطي صورة واضحة المعالم لما نعنيه بهذه الكلمة، يمكـن أن نستخدم صورا عديدة لوصفه مثلاً أنه "جسيم" ومرة موجة أو حزمة موجية. بيد أننا نعرف أنه لا واحدة من هذه التوصيفات دقيق. بالتأكيد ليس للنيتـرون لونـا أو رائحة أو طعما، وبهذا الخصوص فإنه يشبه الذرة في الفلسفة اليونانية، لكن إذا مـا جردنا الجسيم الأولى من خصائص أخرى، على الأقل إلى حد مـا، فـإن مفـاهيم الهندسة والحركة، مثل الشكل والحركة في المكان، لا يمكن تطبيقها عليه بدقـة.إذا ما أراد المرء أن يعطي وصفًا دقيقًا للجسيم الأولي. وهنا أؤكد على كلمة "دقيـق"، فإن الشيء الوحيد الذي يمكن أن أسجله هنا باعتباره وصفًا هو أنه دالة احتمـال. بيد أن المرء سيجد بعد ذلك أن خاصية الوجود (إذا كان يحق لنا أن نطلـق عليـه "خاصية") لا تنتمي إلى الوصف الذي وصفناه. يمكن أن نشير إلى إمكانية الوجـود أو النزوع نحو الوجود، لذلك فإن الجسيم الأولى ما زال في الفيزياء الحديثة أكثـر تجريدًا مقارنة بالذرة عند اليونانيين. وهو بهذه الخاصية يبدو أنـه أكثـر اتـساقا باعتباره مفتاحًا لتفسير سلوك المادة.

تتكون كل الذرات في فلسفة ديمقريطس من نفس الجوهر، إذا كـان لنـا أن نستخدم هذه الكلمة أصلا. تحمل الجسيمات الأولية في الفيزياء الحديثة كتلة محـددة كما تحمل صفات أخرى. فلما كانت الكتلة والطاقة، وفقا لنظرية النسبية، هي فـي الأساس المفهوم نفسه، فهذا يجعلنا نقول إن كل الجسيمات الأوليـة مكونـة مـن الطاقة. يمكن تفسير هذا على أن نُعرِّف الطاقة على أنها جوهر أولـي للعـالم. إن مصطلح "الجوهر له حقا خاصية أساسية يتمتع بها"، من حيث إنه يُحفـظ، وكمـا أشرنا من قبل، فإن وجهات نظر الفيزياء الحديثة، في هذا الصدد، قريبة إلى تلـك التي قال بها هرقليطس، إذا فسرنا عنصر النار على أنه يعني الطاقة. إن الطاقـة في حقيقة الأمر، هي ما يتحرك، والتي يمكن أن نطلق عليها العلة الأولـى لكـل تغير، ويمكن أن تتحول الطاقة إلى مادة أو إلى حرارة أو إلى ضوء، يمكن أن نجد هذا الصراع بين الأضداد في فلسفة هرقليطس في صورتين مختلفتين من الطاقة.

الذرات في فلسفة ديمقريطس أزلية، ووحدات من المادة غير قابلة للفنـاء، ولا يمكن أن تتحول البتة أحدهما إلى الأخرى. تتخذ الفيزياء الحديثة، فيما يتعلـق بهـذه المشكلة، موقفا محددًا ضد مادية ديمقريطس وأفلاطون والفيثاغوريين، بالتأكيد ليست الجسيمات الأولية أزلية ولا وحدات من المادة غير قابلة للفناء. فهي في حقيقة الأمر يمكن لأحدهما أن تتحول إلى الأخري، كما في واقع الأمر، إذا كان ثمـة جـسيمان يتحركان عبر المكان بطاقة حركية عالية جدًا، ثم اصطدما، فقد ينـتج العديـد مـن الجسيمات الأولية الجديدة من خلال الطاقة المتاحة، بينما يختفي الجسيمان الأصـليان في أثناء عملية التصادم. فقد لوحظ في كثير من الأحيان أن مثل هذه الوقـائع تقـدم أفضل دليل على أن الجسيمات مصنوعة من نفس الجوهر: هي الطاقة. إلا إن التشابه بين وجهات النظر الحديثة مع تلك التي قال بها أفلاطون والفيثاغوريين يمكن أن تحمـل لأبعد من ذلك، فالجسيمات الأولية في محاورة "تيمـاوس" لأفلاطـون فـي النهايـة ليست جوهرًا، بل هي صورة رياضياتية. "كل الأشياء أعداد"، هذه الجملـة تعـزي

إلى الفيثاغوريين. كانت الصور الرياضياتية المتاحة آنذاك صور هندسة الجسيمات المنتظمة أو المثلثات التي تشكل سطوحها. لا يوجد ثمة شك في نظرية الكم الحديثة. إن الجسيمات الأولية تصبح أيضا في نهاية المطاف صورًا رياضياتية، ولكن لها طبيعة أكثر تعقيدا. اعتقد الفلاسفة اليونانيون في الصور الساكنة ووجودها في المجسمات الصلبة المنتظمة، ومع ذلك، فإن العلم الحديث، منذ بدايته في القرنين السادس عشر، والسابع عشر قد انطلق من مشكلة ديناميكية وهي: أن العنصر الثابت في الفيزياء منذ نيوتن ليس صورة تركيبية أو هندسية، وإنما هو قانون ديناميكي. تبقى معادلة الحركة طوال الوقت بهذا المعنى أزلية، في حين تكون الأشكال الهندسية مثل المدارات متغيرة، وعلى هذا فإن الصور الرياضياتية التي تمثل الجسيمات الأولية ستكون حلولا لقانون ما أزلي لحركة المادة. وفي حقيقة الأمر، هذه مشكلة لم تحل بعد، فالقانون الأساسي لحركة المادة غير معروف حتى الآن، لهذا لم يعد ممكنا بعد أن نستخلص رياضيا خصائص الجسيمات الأولية من هذا القانون، إلا إن الفيزياء النظرية تبدو في حالتها الراهنة ليست بعيدة عن هذا الهدف، ويمكن أن نقول على الأقل بنوع القانون الذي سنتوقعه. ربما تكون معادلة الحركة النهائية للمادة معادلة موجية كمية غير خطية لحقل عوامل موجي يمثل المادة، وليس أي نوع خاص من الموجات أو الجسيمات. من الممكن أن تكون المعادلة الموجية مساوية لمجموعة معقدة من المعادلات التكاملية التي لها قيم وحلول خاصة كامنة كما يقول الفيزيائيون. هذه الحلول الخاصة الكامنة تمثل في النهاية الجسيمات الأولية، إنها الصور الرياضية التي ستحل محل المجسمات المنتظمة عند الفيثاغوريين، ولعلنا نذكر الآن أن هذه الحلول الخاصة ستنتج عن المعادلة الأساسية للمادة بنفس العملية الرياضياتية التي تنتج بها الاهتزازات التناغمية للوتر الفيثاغوري عن المعادلة التفاضلية للوتر. بيد أن هذه المشكلات - كما قلنا- لم تحل بعد.

إذا تتبعنا مجري التفكير الفيثاغوري ربما يحدونا الأمل أن يتحـول قـانون الحركة الأساسي إلى قانون رياضي بسيط، حتى لو وضعنا في الاعتبار الحـالات الذاتية الكامنة **Eigenstates** المعقدة للغاية. من الصعوبة بمكان أن نعطي أي حجة وجيهة لهذا الأمل في البساطة، باستثناء حقيقة أنه من الممكن حتى الآن أن نكتـب المعادلات الأساسية في الفيزياء بصورة رياضياتية بسيطة. هذه الحقيقة تتناسب مع الديانة الفيثاغورية، ويشاركهم عدد من الفيزيائيين في هذا الاعتقاد، إلا إنه ليس ثمة حجة قاطعة بعد، تبين أن الأمر لا بد من أن يكون هكذا.

قد نضيف هنا حجة تتعلق بمشكلة تتردد كثيرًا عنـد غيـر المتخصـصين، خاصة بمفهوم الجسيم الأولي في الفيزياء الحديثة: لمـاذا يـدعي الفيزيـائيون أن جسيماتهم الأولية لا تنقسم إلى أجزاء صغيرة؟ إن إجابة هذا السؤال تظهر بوضوح كيف يتم مقارنة العلم الحديث، الأكثر تجريدًا، مع الفلسفة اليونانية. تـسير الحجـة كالآتي: كيف يمكن أن ينقسم الجسيم الأولي؟ بالتأكيد عبر اسـتخدام قـوي شـديدة وأدوات حادة للغاية، والأدوات الوحيدة المتاحة هي جسيمات أولية أخـرى، لـذلك فإن التصادم بين جسيمين أوليين لهما طاقة عالية جدا سيكون والوسـيلة الوحيـدة التي يمكن عن طريقها تقسيم الجسيمات، يمكن تقسيمها بالفعل في هذه العملية إلـى عدد كبير من الشظايا؛ بيد أن هذه الشظايا هي مرة أخرى جسيمات أولية، وليـست أجزاء صغيرة منها، تنتج كتل هذه الشظايا عن الطاقة الحركية الضخمة لجـسيمين متصادمين. بعبارة أخرى، إن تحول الطاقة إلى مادة من الممكن أن يجعل شـظايا الجسيمات الأولية مرة أخرى هي الجسيمات الأولية نفسها.

بعد هذه المقارنة بين وجهات النظر الحديثة في الفيزياء الذريـة والفلـسفة اليونانية يجدر بنا أن نضيف تحذيرًا، إن هذه المقارنة لا يجب أن تجعلنـا نـسيء الفهم. ربما يبدو لأول وهلة أن الفلاسفة اليونانيين لديهم حدسًا بارعًا جعلهم يصلون إلى نتائج مشابهة جدًا مع ما لدينا في العصور الحديثة بعد قرون عديدة من العمـل

الجاد في التجارب والرياضيات. ومع ذلك فإن تفسير مقارنتنا على هذا النحو قد أسيء فهمه تماما، ذلك لأن هناك فرق هائل بين العلم الحديث والفلسفة اليونانية يكمن في الاتجاه التجريبي للعلم الحديث، تأسس العلم الحديث، منذ جاليليو ونيوتن على دراسة تفصيلية للطبيعة، وعلى مسلمة أن العبارات الصحيحة هي التي تم التحقق منها أو على الأقل يمكن التحقق منها عن طريق التجربة. أما فكرة أن المرء يمكنه أن يختار بعض الوقائع بذاتها من الطبيعة عبر تجربة ما لدراستها بالتفصيل والكشف عن القانون الثابت وراء هذا التغير المستمر، فهذا لم يخطر على بال الفلاسفة اليونانيين. لذلك، وقف العلم الحديث في بداياته، مقارنة بالفلسفة القديمة، على أرضية أكثر تواضعا وثباتا، ومن ثم فإن عبارات الفيزياء الحديثة تبدو أكثر جدية بطريقة ما مقارنة بالفلسفة اليونانية، فعندما يقول أفلاطون، على سبيل المثال، أن أصغر جسيمات النار هي الشكل الرباعي، ولكن ليس من السهل أن تفهم ما الذي يعنيه حقا، هل المجسم الرباعي يتعلق بشكل رمزي بعنصر النار، أم إن أصغر جسيمات النار يعمل بطريقة ميكانيكية لمجسمات رباعية صلبة أو باعتباره مجسمات رباعية مرنة، وبأية قوة يمكن أن نفصلها إلى مثلثات متساوية الأضلاع وهلم جرا؟ دائما ما يسأل العلم الحديث في نهاية المطاف: كيف للمرء مثلاً أن يقرر، بطريقة تجريبية، أن ذرات النار مجسمات رباعية وليست مكعبات؟ لذلك، عندما يقرر العلم الحديث أن البروتون هو حل مؤكد للمعادلة الأساسية للمادة، فهذا يعني أننا يمكن أن نستنتج رياضيا من هذا الحل كل الخصائص الممكنة للبروتون ويمكن التحقق من صحة هذا الحل تفصيليًا عن طريق التجربة. إن إمكانية التحقق من صحة العبارة تجريبيا، وبدرجة عالية من الدقة، ولأي عدد من التفاصيل، تعطي وزنا هائلاً للعبارة، وهذا لم يصاحب عبارات الفلسفة اليونانية المبكرة.

على أية حال، هناك بعض العبارات الفلسفية القديمة تقترب، إلى حد ما، من عبارات العلم الحديث، وهذا يوضح ببساطة أن المرء يمكنه أن يكتسب مجموعة من الخبرات العادية إزاء الطبيعة دون أن نجري تجارب ونبذل جهودًا دؤوبة لكي نحصل على نظام منطقي لهذه الخبرة لنفهم ذلك من مبادئ عامة.

٥ ـ تطور الأفكار الفلسفية منذ ديكارت مقارنة بالوضع الجديد في نظرية الكم

كان العقل البشري في الأعوام الألفين التي أعقبت ذروة الثقافة والعلوم اليونانية في القرنين الخامس والرابع قبل الميلاد، مشغولا إلى حد كبير بمشكلات ذات طابع مختلف عن تلك المرحلة السابقة. كان أقوى الدوافع في القرون الأولى للثقافة اليونانية هو واقع العالم المباشر الذي نحيا به وندركه بحواسنا، هذا الواقع كان مفعمًا بالحياة ولم يكن ثمة سبب وجيه للتشديد على التمييز بين المادة والعقل أو بين الجسد والنفس، إلا إن المرء يرى بالفعل في فلسفة أفلاطون أن ثمة واقع آخر فعلى بدا أقوى. في ذلك التشبيه البليغ للكهف، شبه أفلاطون رجالا بأنهم سجناء في كهف مقيدون بحيث لا ينظرون إلا في اتجاه واحد فقط. ومن ورائهم نار، وعلى الجدار يرون ظلالهم وظلال الأشياء القابعة خلفهم. ولما كانوا لا يرون سوى الظلال، فقد اعتبروها واقعا ولم يدركوا الأشياء. بيد أن أحد السجناء تمكن من الهرب وخرج من الكهف إلى ضوء الشمس. فهو يرى الأشياء الحقيقية لأول مرة ويدرك أنه كان حتى هذه اللحظة قد انخدع بالظلال. ولأول مرة يعرف الحقيقة ويتذكر في أسى حياته الطويلة التي قضاها في الظلام. إن الفيلسوف الحقيقي هو ذاك السجين الذي فر من الكهف إلى نور الحقيقة، فهو الذي يملك معرفة حقيقية. هذا الارتباط المباشر بالحقيقة، أو قل بالإله، بالمعنى المسيحي، هو الواقع الجديد الذي بدت قوته تفوق العالم الذي ندركه بحواسنا. إن هذا الارتباط المباشر بالإله يحدث داخل النفس البشرية، وليس في العالم، وتلك كانت المشكلة التي شغلت التفكير البشري أكثر من أي شيء آخر خلال ألفي عام، كانت عيون الفلاسفة في هذه الفترة تتجه نحو النفس البشرية وعلاقتها بالإله، وإلى مشكلات الأخلاق وتفسير الوحي وليس للعالم الخارجي. كان هناك في عصر النهضة الإيطالية تغير تدريجي ملحوظ نحو العقل البشري، وهذا أدي في نهاية المطاف إلى إحياء الاهتمام بالطبيعة.

سبق التطور الهائل للعلوم الطبيعية في القرنين السادس عشر والسابع عشر تطور مصاحب للأفكار الفلسفية التي كانت مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالمفاهيم الأساسية للعلوم، لذا من المفيد أن نبدي ملاحظات حول هذه الأفكار من الموقع الذي بلغه العلم الحديث أخيرا في عصرنا. كان أول الفلاسفة العظام في هذه الحقبة الجديدة هو رينيه ديكارت الذي عاش في النصف الأول من القرن السابع عشر، كانت أفكاره التي وردت في كتابه " مقال في المنهج" تمثل أهمية كبيرة لتطور التفكير العلمي. فقد حاول، مستندا على الشك والاستدلال المنطقي، أن يجد أساسا جديدًا تمامًا، و أرضية صلبة، كما يعتقد النسق الفلسفي. فقد رفض الوحي باعتباره أساسًا في ذاته ولم يقبل، دون نقد، ما ندركه بحواسنا، لذا يبدأ منهجه من الشك. فهو يلقي بشكوكه على ما تخبرنا به حواسنا عن نتائج استدلالاتنا ليقدم في النهاية عبارته الشهيرة " أنا أفكر إذن أنا موجود"، ولا أشك في وجودي ذلك لأنه ينبع من حقيقة أنني أفكر"، بعد إثبات وجود الأنا بهذه الطريقة مضى ليثبت وجود الإله على غرار الفلسفة المدرسية. أما وجود العالم فينبع من حقيقة أن الإله قد زودني بميل فطري قوي للاعتقاد في وجود العالم، ومن المستحيل بالطبع أن يكون الإله قد خدعني.

يختلف أساس فلسفة ديكارت اختلافًا جذريًا عن مثيله لدى الفلاسفة اليونانيين القدماء. فنقطة الانطلاق هنا ليست مبدًا أوليًا أو جوهريًا، بل هو محاولة لمعرفة أولية. لقد أدرك ديكارت أن ما نعرفه عن عقولنا أكثر يقينا مما نعرفه عن عالمنا الخارجي. بيد أن نقطة انطلاقه الفعلية تكمن في هذا المثلث: الإله – العالم – الأنا حيث يوضح بطريقة محفوفة بالمخاطر أساس الاستدلال الذي يؤيد وجهة نظره. لقد تم التمييز بين المادة والعقل أو بين النفس والجسد، هذا التمييز الذي بدأ في فلسفة أفلاطون. تم فصل الإله عن الأنا وعن العالم، بدا الإله في الواقع متعاليا في مرتبة أعلى من العالم والناس، فهو يبدو في فلسفة ديكارت مجرد طرف يمكن الرجوع إليه ليحدد العلاقة بين الأنا والعالم. على الرغم من أن الفلسفة اليونانية

القديمة حاولت العثور على نظام في التنوع اللانهائي للأشياء والأحداث بالبحث عن مبدأ موحد أولي. نجد ديكارت يحاول أن يؤسس النظام من خلال ثنائية أولية، بيد أن الأجزاء الثلاثة الناجمة عن الثنائية تفقد قليلا من جوهرها إذا ما أخذنا أي جزء منها بشكل منفصل عن الجزأين الآخرين. إذا كان المرء يستخدم المفاهيم الأولية لديكارت، فمن الضروري أن يكون الإله في العالم وفي الأنا، ومن الضروري أيضا عدم الفصل بين الأنا والعالم. كان ديكارت بطبيعة الحال على علم بضرورة هذا الارتباط غير القابل للجدل، بيد أن تطور الفلسفة والعلوم الطبيعية في الفترة اللاحقة على أساس التناقض بين "الشيء المفكر" و"الشيء الممتد" حيث تهتم العلوم الطبيعية بالتركيز على "الشيء الممتد". من الصعوبة بمكان أن نقدر بشكل مبالغ فيه تأثير الثنائية الديكارتية على الفكر البشري في القرون التالية، إلا إن هذه الثنائية، التي سأقوم بنقدها لاحقا، كانت أساس تطور الفيزياء في عصرنا هذا. بطبيعة الحال سيكون من الخطأ القول أن ديكارت، من خلال منهجه الجديد في الفلسفة، قد أعطى اتجاها جديدا في الفكر البشري، فما قام به حقا هو صياغة اتجاه جديدٍ لأول مرة في التفكير البشري الذي شاهدناه خلال عصر النهضة وحركة الإصلاح الديني في إيطاليا، لقد كان هناك إحياء للاهتمام بالرياضيات التي أعربت عن نفوذها المتزايد للمبادئ الأفلاطونية في الفلسفة والإصرار على الدين الشخصي. إن الاهتمام المتزايد بالرياضيات قد لاقى استحسانا باعتباره نسقًا فلسفيًا يبدأ من الاستدلال المنطقي في محاولة عبر هذا المنهج الوصول إلى الصدق باعتباره نتيجة رياضياتية يقينية. إن الإصرار على الدين الشخصي فصل الأنا عن علاقتها بالإله وبالعالم. وكان الاهتمام بالجمع بين المعرفة التجريبية والرياضيات كما رأينا في أعمال جاليليو **Galileo**(*) ربما يعزي جزئيا إلى إمكانية الوصول

(*) جاليليو جاليلي (١٥٦٤-١٦٤٢) عالم فلكي وفيزيائي وفيلسوف إيطالي، اضطلع بمهمة إثبات خطأ نظرية الحركة عند أرسطو، وشيد أسس الفيزياء الحديثة، حيث وضع مبدأين أصبحا، لفترة طويلة، موجهين للعلم الحديث. الأول: هو ضرورة الاعتماد على الملاحظة لا على أي سلطة أخري عند وضع القضايا والفروض عن الطبيعة. والثاني: أنه بالامكان فهم العمليات الطبيعية فهما أفضل إذا تم تقديمها في =

بهذه الطريقة، إلى معرفة ما يمكن أن تحتفظ ببقائها بغض النظر عن النزاع اللاهوتي الذى أثارته حركة الإصلاح الديني. يمكن صياغة هذه المعرفة التجريبية دون الحديث عن الإله أو عن أنفسنا، وهي تتحيز للفصل بين المفاهيم الثلاثة الأساسية، الإله، والعالم، والأنا، الفصل بين "الشيء المفكر" و" الشيء الممتد". في هذه الفترة كان ثمة اتفاق واضح بين الرواد في العلوم التجريبية على أن ثمة بعض الحالات لا ينبغي مناقشتها كاسم الإله أو العلة الأولى.

من جهة أخري، كان ثمة صعوبات يسهل رؤيتها بوضوح منذ البداية، فعلى سبيل المثال، الفصل بين "الشيء المفكر" و"الشيء الممتد". نجد ديكارت قد اضطر إلى وضع كل الحيوانات في جانب "الشيء الممتد" لذا لم تختلف الحيوانات والنباتات جذريا عن الآلات، حيث يتحدد سلوكها كلية وفقا للعلل المادية. ولكن يبدو أنه من الصعوبة بمكان أن ننكر تماما وجود نوع من الروح في الحيوانات، كما يبدو لنا أن المفهوم القديم للروح مثلاً في فلسفة توما الاكويني كان أكثر طبيعية وأقل تكلفا مقارنة بالمفهوم الديكارتي للـ"الشيء المفكر"، حتى لو كنا على قناعة بأن قوانين الفيزياء والكيمياء صحيحة بشكل قاطع فيما يتعلق بالكائنات الحية. من بين النتائج التي ظهرت في وقت متأخر أن ديكارت قال، بأننا لو اعتبرنا ببساطة أن الحيوانات آلات، يصعب ألا نفكر بالطريقة نفسها إزاء البشر، من جهة أخرى، لما كان "الشيء المفكر" و"الشيء الممتد" تم أخذهما على أنهما مختلفان تماما في جوهرهما، يبدو أنه من الصعوبة أن يؤثر أحدهما في الآخر. لذلك، من أجل الحفاظ على التوازي الكامل بين تجارب العقل والجسد، لا بد من أن يكون العقل ونشاطه محكوما تماما بالقوانين التي تتطابق مع قوانين الفيزياء والكيمياء. هنا يطرح مسألة إمكانية "الإرادة الحرة". واضح أن هذا الوصف كان وصفا اصطناعيًا بعض الشيء، ومن ثم تظهر العيوب الجسيمة في الثنائية الديكارتية.

= مصطلحات رياضياتية، لقد اعتبر جاليليو أن العمود الفقري للخبرة العلمية هو الرياضيات؛ لأن كتاب الطبيعة لا تتيسر قراءته إلا من منظور رياضياتي، وأن هدف العلم ليس وصف الطبيعة بل تحويلها إلى صيغ رياضياتية تتخذ صورة قوانين طابعها الدقة واليقين.(المترجم)

من جهة أخرى، كانت هذه الثنائية في العلوم الطبيعية ناجحة تماما لعدة قرون، فقد بدأت ميكانيكا نيوتن، وكل الفروع الأخرى للفيزياء الكلاسيكية في تشييد نموذجها. من افتراض أن المرء يمكنه أن يصف العالم دون الحديث عن الإله أو ذواتنا، بدت هذه الإمكانية بأنها شرطًا ضروريًا للعلوم الطبيعية بوجه عام. بيد أن الوضع قد تغير فيما يتعلق بهذه النقطة مع نظرية الكم، وبالتالي يمكن أن نأتي الآن إلى مقارنة النسق الفلسفي لديكارت بالوضع الحالي في الفيزياء الحديثة، وقد تم الإشارة من قبل إلى تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم، ويمكننا المضي قدما دون الإشارة إلى ذواتنا باعتبارنا أفرادًا، بيد أننا لا يمكننا تجاهل حقيقة أن الإنسان هو من شكّل العلوم الطبيعية. إن العلوم الطبيعية ليست ببساطة مجرد وصف وتفسير للطبيعة، إنها جزء من التفاعل بين الطبيعة وذواتنا، فهي تصف الطبيعة بعد ما تتعرض لمنهجنا في الاستجواب، هذا الاحتمال لم يخطر على بال ديكارت البتة، بيد أنه (هذا الاحتمال) يجعل الفصل الحاد بين الأنا والعالم أمرًا مستحيلا. فإذا تتبع المرء الصعوبة البالغة التي واجهت حتى العلماء البارزين أمثال آينشتين في فهم تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم وقبولها ، سيجد أن جذورها ترجع إلى الثنائية الديكارتية، هذه الثنائية التي اخترقت بعمق العقل البشري خلال القرون الثلاثة التي أعقبت ديكارت، وسيتطلب الأمر زمنا طويلا حتى نستبدل بها موقفا مختلفا إزاء مشكلة الواقع.

أما الموقف الذي أدي إلى الثنائية الديكارتية فيما يتعلق بالـ "الشيء الممتد" هو ما يمكن أن نطلق عليه الواقعية الميتافيزيقية، فالعالم، أي الأشياء الممتدة، موجود، ويجب أن نفرق بينه وبين الواقعية العملية، ويمكن وصف مختلف أشكال الواقعية على النحو التالي: فالعبارة التي تقول، نحن موضوعيون "إذا كنا ندعي أن مضمونها لا يتوقف على الشروط اللازمة للتحقق منها". تفترض الواقعية العملية **Practical Realism** أن ثمة عبارات يمكن أن تكون

موضوعية وأن جزءا كبيرا من خبرتنا في الحياة اليومية يشتمل على مثل هذه العبارات. أما الواقعية الدوجماطيقية **Dogmatic Realism** فتدعي أنه ليس ثمة عبارات تتعلق بالعالم المادي ولا تكون موضوعية. إن الواقعية العملية تظل دائما جزءا أساسيا من العلوم الطبيعية ومع ذلك تظل الواقعية الدوجماطيقية، كما نرى الآن، ليست شرطا ضروريا للعلوم الطبيعية؛ بيد أنها لعبت في الماضي دورا مهما في تطور العلوم؛ بل في الواقع كان وضع الفيزياء الكلاسيكية هو وضع الواقعية الدوجماطيقية. لقد تعلمنا من نظرية الكم أن العلم الدقيق ممكنٌ دون أساس من الواقعية الدوجماطيقية. عندما انتقد أينشتين نظرية الكم انطلق من منطلق الواقعية الدوجماطيقية. إنه موقف طبيعي للغاية، فكل عالم يقوم بإجراء بحث يشعر بأنه يبحث عن شيء ما له صحة موضوعية، إلا إن عباراته لا تعني الاعتماد على شروط يمكن التحقق منها. أما حقيقة أننا نستطيع تفسير الطبيعة في الفيزياء بقوانين رياضياتية بسيطة، فهي تخبرنا أننا نقابل ملمحا حقيقيا من ملامح الواقع، لا شيئا من اختراعنا نحن. بكل ما في هذه الكلمة من معنى. هذا هو موقف آينشتين الذي كان يدور في خلده عندما أخذ الواقعية الدوجماطيقية أساسا للعلوم الطبيعية، في حين أن نظرية الكم، هي في حد ذاتها، مثالاً لإمكانية تفسير الطبيعية بقوانين رياضياتية بسيطة دون هذا الأساس، قد لا تبدو هذه القوانين بسيطة إلى حد بعيد إذا ما كان ثمة مقارنة بالميكانيكا النيوتونية. ولكن انطلاقا من التعقيد الهائل للظواهر التي ينبغي تفسيرها (على سبيل المثال، الطيف الخطى للذرات المعقدة)، فإن النظام الرياضياتى لنظرية الكم بسيط نسبيا. في حقيقة الأمر العلوم الطبيعية ممكنة دون أساس من الواقعية الدوجماطيقية. تخطو الواقعية الميتافيزيقية **Metaphysical Realism** خطوة أبعد مقارنة بالواقعية الدوجماطيقية بالقول "إن الأشياء توجد فعليًا"، هذه هي الحقيقة التي يحاول ديكارت إثباتها عن طريق الحجة القائلة إن "الله لا يمكن أن يخدعنا"، وإن العبارة التي تقول إن الأشياء توجد فعليًا تختلف عن عبارة الواقعية الدوجماطيقية لوجود

كلمة "توجد" التي كانت تعنى في عبارة أخرى "أنا أفكر إذن، أنا موجود"، ولكن من الصعوبة أن نفهم ما المقصود بهذه النقطة التي لم ترد بعد في أطروحة الواقعية الدوجماطيقية؛ وهذا يقودنا إلى نقد عام لعبارة "أنا أفكر إذن أنا موجود"، الذي يعتبرها ديكارت الأساس الصلب الذي استطاع من خلاله تشييد نسقه، إنها حقيقة أكيدة أن هذه العبارة لها يقين النتيجة الرياضياتية، إذا تم تعريف الكلمات " أنا أفكر" و"موجود" بالطريقة المعتادة، أو أن نضعها بشكل أكثر حيطة وفي الوقت ذاته أكثر نقدية، إذا عرفنا الكلمات كما في العبارة التالية. لكن هذا لا يقول لنا شيئا عن مدي ما يمكننا استخدامه من مفاهيم "التفكير" و"الوجود" في العثور على طريقنا. إن السؤال حول مدى إمكانية تطبيق مفاهيمنا هو في النهاية سؤال تجريبي بالمعنى العام.

تم استشعار صعوبة الواقعية الميتافيزيقية بعد ديكارت بوقت قصير وأصبحت نقطة الانطلاق للفلسفة التجريبية، المذهب الحسي والوضعي. يمكن اعتبار ثلاث فلاسفة ممثلين للفلسفة التجريبية المبكرة هم: لوك وبيركلي وهيوم. يعتقد لوك **Locke**، على عكس ديكارت، أن أساس المعرفة في النهاية هو الخبرة. قد تكون هذه الخبرة إحساسًا أو إدراكا حسيًا من خلال عملية تقوم بها عقولنا. إن المعرفة كما يقرر لوك، هي إدراك حسي لتوافق أو عدم توافق فكرتين. أما الخطوة التالية فقد تكفل بها بيركلي **Berkeley**. إذا كانت معرفتنا بالفعل قد اشتقت من الإدراك الحسي، فليس ثمة معنى أن نقول عبارة إن كل الأشياء توجد فعليًا. ذلك إذا كان الإدراك الحسي هو مصدرها فلا يمكن أن تقدم أي اختلاف ما إذا كانت الأشياء موجودة أو غير موجودة. لذلك، فكون الشيء مدركًا حسيًا يعني أنه موجود. امتدت هذه الحجة مع هيوم **Hume** إلى مذهب شكي متطرف حيث أنكر الاستقراء والسببية وتوصل إلى نتيجة تقوض، إذا أخذناها بشكل جدي، أساس العلوم التجريبية. إن نقد الواقعية الميتافيزيقية الذي تم التعبير عنه في الفلسفة

التجريبية يوجد ما يبرره بالتأكيد إذا ما أخذناه على أنه تحذير ضد الاستخدام الساذج لمصطلح "الوجود". من الممكن أن نوجه نقدًا بالطريقة نفسها إلى العبارات الوضعية لهذه الفلسفة. إن إدركاتنا الحسية ليست حزمًا أولية من الألوان والأصوات، ما ندركه حسيًا هو بالفعل ما ندركه حسيًا باعتباره شيئًا، إن التركيز على كلمة "شيء" من الكلمات التي ستكون موضع شك، إذا ما ربحنا أي شيء من خلال الادراكات الحسية بديلاً عن الأشياء باعتبارها عناصر أولية للواقع.

أما الصعوبة الأساسية التي تم الاعتراف بها صراحة من قبل الوضعية الحديثة أن هذا الخط من التفكير يعبر عن نقد ضد الاستخدام الساذج لمصطلحات بعينها مثل "الشيء" و"الإدراك الحسي" و"الوجود"، وذلك بالمسلمة العامة أن ما إذا كان لجملة ما معنى على الإطلاق، هو أمر لا بد من أن يخضع دائمًا إلى فحص دقيق ونقدي. تستمد هذه المسلمة والاتجاه القابع خلفها من المنطق الرياضياتي **Mathematical Logic**(*). يتم تصوير إجراء العلوم الطبيعية باعتبارها مرفقًا من الرموز لهذه الظاهرة. يمكن لهذه الرموز أن تتجمع كما في الرياضيات وفقا لقواعد معينة، بهذه الطريقة يمكن أن تكون عبارات للظواهر ممثلة برموز، ومع ذلك فإن مجموعة الرموز تلك لا تمتثل إلى القواعد، ليس لكونها خاطئة بل لكونها لا تحمل أي معنى. إن الصعوبة الجلية في هذه الحجة هي عدم وجود أي معيار عام نحكم من خلاله على جملة ما بأنها بلا معنى. إن الوصول إلى قرار نهائي بهذا الشأن أمر مستحيل فقط عندما تكون الجملة تنتمي لنسق مغلق من المفاهيم والبديهيات، وهذا يعتبر في تطور العلوم الطبيعية الاستثناء لا القاعدة. تاريخيًا كان

(*) المنطق الرياضياتي (والذي يطلق عليه في بعض الأحيان باللوجستيقا أي الحساب باليونانية) هو منطق يعتمد على مجموعة من الرموز والإشارات بدلا من الألفاظ والعبارات التي قد تسبب لبسًا وغموضًا في كثير من الأحيان. بلغ هذا المنطق ذروته في كتابات الفيلسوفين الإنجليزيين برتراندرسل ووينهيد في مطلع القرن العشرين، ثم أصبح حركة عالمية واسعة ساهم فيها الكثير من فلاسفة العلم وعلماء الرياضيات. لقد أصبح المنطق نظرية رياضياتية يجري فيه الاستنباط على أسس رياضياتية ويشتمل على أنواع أخرى من الاستنباط غير القياس بمفهوم المنطق الصوري التقليدي. (المترجم)

تخمين جملة معينة تفتقر إلى المعنى قد أدت في بعض الحالات إلى تقدم مهم؛ لأنها فتحت الطريق إلى إقامة علاقات جديدة كانت مستحيلة إذا كانت للجملة معنى. لقد تم بالفعل مناقشة هذا المثال في نظرية الكم حول معنى الجملة القائلة " في أي مدار يتحرك الإلكترون حول النواة ؟" بيد أن المنهج الوضعي بوجه عام مأخوذ من منطق رياضياتي ضيق جدا في وصف الطبيعة يستخدم بالضرورة كلمات ومفاهيم يتم تعريفها بشكل مبهم.

لقد أدت الأطروحة الفلسفية التي تقول بأن كل المعارف ترتكز بشكل نهائي على الخبرة إلى مسلمة تتعلق بالتفسير المنطقي لأية عبارة تتعلق بالطبيعة. قد يبدو أن هذه المسلمة وجدت ما يبررها في مرحلة الفيزياء الكلاسيكية، بيد أننا تعلمنا من نظرية الكم أنه لا يمكن التحقق منها. فعلى سبيل المثال تبدو الكلمتان "موضع" الكترون ما و"سرعة" إلكترون ما محددتان المعنى تماما ومرتبطتان بشكل محتمل، وأنهما في حقيقة الأمر واضحتان المعالم في الإطار الرياضياتي للميكانيكا النيوتونية. بيد أنهما في حقيقة الأمر ليسا كذلك وهذا يتجلى بوضوح في العلاقات اللايقينية. قد يقول قائل إن الموضع في الميكانيكا النيوتونية كان محددا تماما، لكن العلاقة بالطبيعة لم تكن كذلك، وهذا يدل على أننا لا يمكننا البتة أن نعرف مسبقا أي قيود سوف نضعها لتكون قابلة للتطبيق على مفاهيم محددة عند توسيع نطاق معرفتنا بمناطق نائية عن الطبيعة لا يمكن اختراقها إلا باستخدام أدوات معقدة للغاية. لذلك نحن ملزمون في عملية الاختراق أن نستخدم أحيانًا مفاهيمنا بطريقة غير مبررة ولا تحمل أي معنى والإصرار على مسلمة التفسير المنطقي الكامل سيجعل العلم مستحيلاً. تذكرنا الفيزياء الحديثة هنا بالحكمة القديمة التي تقول: "إن المرء الذي يصر على التفوه بخطأ عليه أن يصمت".

جرت محاولة للجمع بين هذين الخطين من التفكير، اللذين بدآ مع ديكارت من ناحية و لوك وباركلي من ناحية أخرى، هذه المحاولة جاءت من فلسفة

كانط(*) مؤسس المثالية الألمانية. أما الجزء المهم من عمله في المقارنة بين نتائج الفيزياء الحديثة كان في كتابه "نقد العقل الخالص"، حيث أثار سؤالاً ما إذا كانت المعرفة تتأسس على الخبرة أم إن ثمة مصادر أخرى، ويصل إلى نتيجة مؤداها أن جزءًا من معرفتنا "قبلية" و لا يمكن استنتاجها استقرائيا من الخبرة. لذلك، يميز كانط بين المعرفة "التجريبية و المعرفة القبلية"، وفي الوقت ذاته يميز بين "القضايا التحليلية" التي تشتق ببساطة من المنطق، و التنكر لها يؤدي إلى التناقض الذاتي، و "القضايا التى ليست تحليلية" "يطلق عليها "تركيبية" وفقًا لكانط، فما هو، إذن، معيار المعرفة "القبلية"؟ يتفق كانط على أن كل معارفنا تبدأ من الخبرة، إلا إنه يضيف أن معارفنا لا تستمد دائمًا من الخبرة. صحيح أن الخبرة تعلمنا أن شيئًا معينًا لديه خصائص، ولكنها لا تعلمنا كيف يمكن أن تكون مختلفة. لذلك، إذا كانت قضية ما يتم التفكير فيها جنبًا إلى جنب مع ضرورتها لا بد من أن تكون قضية: قبلية "، و الخبرة لا تعطي البتة أحكاما عمومية كاملة، فعلى سبيل المثال الجملة القائلة: "تشرق الشمس كل صباح" تعني أننا لا نعرف أي استثناء لهذه القاعدة في الماضي ونتوقع أن تحتفظ بهذا مستقبلاً. فإذا ما وضعنا حكمًا ما ذا عمومية كاملة، ولما كان من المستحيل أن نتصور أي استثناء، فلا بد من أن يكون هذا الحكم " قبليًا" حتى لو تعلم الطفل الحساب عن طريق لعب البلى، فإنه ليس في حاجة إلى أن يرجع إلى الخبرة لكي يعرف أن ٢+٢=٤. المعرفة التجريبية، في أي جهة

(*) كان الفيلسوف الألماني كانط Kant. I (١٧٢٤- ١٨٠٤) هو المعبر عن الاكتمال الفلسفي داخل النسق النيوتونى، فمقدمة الطبعة الثانية لكتاب كانط "نقد العقل الخالص" شاهدة على إعجابه الشديد بالعلم النيوتونى، وفي الوقت ذاته يعلن فشل الميتافيزيقا، والبحث عن أساس جديد لها في العلم المعاصر، هذا الأساس كان العلم النيوتونى والهندسة الإقليدية، وهذا بدا واضحا في طرحه للسؤال المشهور: كيف تكون الرياضيات والفيزياء ممكنتين؟ وكان الجواب الذي نتلمسه عند كانط هو أن موضوعات هذين العلمين لا تعتمد على التجربة ولا على الحس، بل هي موضوعات قبلية apriori يفرضها العقل على الطبيعة. غدت الفيزياء النيوتونية بالنسبة لكانط هي الفيزياء الوحيدة الممكنة، وهذا يظهر من خلال دفاع كانط الفلسفي عن المطلقات النيوتونية حيث يسرد كانط في كتابه "مقدمة لكل ميتافيزيقا مقبلة يمكن أن تصير علما" أدلة مفصلة على قبلية المكان والزمان، فهما حدسان خالصان قبليان وهي الصفات نفسها التي أعطاها نيوتن للمكان والزمان بأنهما مطلقان يوجدان دون أية علاقة مع أي شيء خارجي، في حين أن الأشياء لا توجد إلا بهما وفيهما. (المترجم)

أخرى، معرفة تركيبية. ولكن هل من الممكن أن تكون الأحكام التركيبية قبلية؟ يحاول كانط إثبات هذا بإعطاء أمثلة تبدو فيها المعيار السابق قد تحقق. فالمكان والزمان، كما يقول، صورتان قبليتان من الحدس الخالص، ويعطى في حالة المكان هذه الحجج الميتافيزيقية التالية :

١- المكان ليس مفهومًا تجريبيًا، بل هو مفهوم مجرد ينتج عن خبرات أخرى. إن المكان افتراض مسبق يشير إلى أحاسيس لشيء ما خارجي، والخبرة الخارجية ممكنة فقط من خلال صورة المكان.

٢- المكان صورة قبلية ضرورية، يكمن خلفه كل الإدراكات الحسية الخارجية، ولا يمكن أن نتصور عدم وجود مكان، على الرغم من أننا يمكن أن نتصور المكان فارغا من أي شيء.

٣- المكان ليس مفهومًا انتقاليًا أو عاما لعلاقات الأشياء بوجه عام، فهناك مكان واحد فقط، وما نطلق عليه "أماكن" هي أجزاء منه وليست شواهد.

٤- يظهر المكان هنا على أنه حجم لا نهائي معطى، يحمل داخله كل أجزاء المكان، تختلف هذه العلاقة عن علاقة مفهوم ما بأمثلته، وبالتالي المكان ليس مفهومًا، وإنما هو "صورة حدسية".

لن نناقش هنا هذه الحجج. إنما نذكرها فقط كأمثلة للنموذج العام للدليل الذي وضعه كانط في ذهنه، أن الحجج التركيبية قبلية.

أما بالنسبة للفيزياء فقد أخذها كانط بوصفها قبلية، إلى جانب المكان والزمان، وقانون السببية ومفهوم الجوهر. وقد حاول في مرحلة متأخرة من عمله أن يضم قانون حفظ المادة، والفعل ورد الفعل، بل وحتى قانون الجاذبية. لا أحد من الفيزيائيين لديه الاستعداد لمتابعة كانط فيما يذهب إليه، إذا تم استخدام مصطلح "قبلي" بالمعنى المطلق الذي أعطاه إياه كانط. وقد اعتبر كانط الهندسة الإقليدية

في الرياضيات قبلية. قبل مقارنة معتقدات كانط بنتائج الفيزياء الحديثة علينا أن نذكر جزءا آخر من عمله والذي يتعين علينا الإشارة إليه في وقت لاحق. إن السؤال المثير للجدل ما إذا كانت الأشياء لها وجود فعلي، والذي أدى إلى الفلسفة التجريبية، قد ظهر أيضًا في نسق كانط، إلا إن كانط لم يحذو حذو باركلي وهيوم، على الرغم من أن هذا يعد أمرًا متسقا منطقيا؛ فإنه احتفظ بمفهوم " الشيء في ذاته" باعتباره مفهومًا مختلفا عن المدرك الحسي. هذه الطريقة جعلت ثمة نوعا من الارتباط مع الواقعية.

نأتي الآن لمقارنة معتقدات كانط بالفيزياء الحديثة. يبدو لأول وهلة أن مفهومه المحوري هو "الأحكام التركيبية القبلية" التي تم تقويض دعائمها عبر اكتشافات القرن العشرين. لقد غيرت نظرية النسبية نظرتنا عن المكان والزمان، وكشفت، في حقيقة الأمر، عن ملامح جديدة تماما للمكان والزمان، والتي لم نرها في صور كانط القبلية للحدس الخالص. لم يعد قانون السببية يطبق في نظرية الكم، ولم يعد قانون حفظ المادة صحيحًا بالنسبة للجسيمات الأولية. الواضح أن كانط لم يكن يتوقع مثل هذه الاكتشافات الجديدة، ولكن كان على قناعة أن مفاهيمه ستكون الأساس للميتافيزيقا التي يمكن أن نطلق عليها علمًا. فمن الأهمية بمكان أن نرى إلى أي حد كانت حجته خاطئة.

لنأخذ قانون السببية **Law of Causality** مثالاً. يقول كانط عندما نلاحظ واقعة ما فإننا نفترض أن واقعة ما أخرى سبقتها ونتجت عنها وفقًا لقاعدة ما. هذا بالنسبة لكانط، أساس كل عمل علمي. أما أن نجد دائمًا هذه الواقعة السابقة ينتج عنها الواقعة الأخرى، هو أمر ليس بذات أهمية في هذه المناقشة. بطبيعة الحال يمكن أن نجد العديد من الأمثلة على ذلك، ولكن إذا لم نتمكن من هذا فليس ثمة ما يمنعنا من طرح سؤال عما تكون هذه الواقعة السابقة ونبحث عنها. لذلك فإن قانون السببية نتاج لمنهج البحث العلمي؛ إنه الشرط الذي يجعل العلم ممكنًا، ولما كنا

نطبق بالفعل هذا المنهج، فإن قانون السببية قانون قبلي وغير مشتق من الخبرة. ولكن هل هذا صحيح في الفيزياء الذرية؟ دعونا نأخذ بعين الاعتبار ذرة الراديوم والتي يمكن أن ينبعث منها شعاع ألفا. كل ما يمكن قوله هو أن متوسط هذا الانبعاث سيأخذ ما يقرب من ألفي عام. لذلك عندما نلاحظ الانبعاث لا نبحث بالفعل عن الواقعة السابقة للانبعاث التي يجب أن تكون وفق قاعدة ما.

منطقيا يبدو الأمر ممكنا إلى حد ما للبحث عن مثل هذه الواقعة، ولكننا لسنا في حاجة إلى أن نتخوف من حقيقة أن أحدًا حتى الآن لم يجد مثل هذه الواقعة، ولكن لماذا تغير المنهج العلمي بالفعل في هذا السؤال الأساسي منذ كانط ؟

ثمة إجابتان محتملتان عن هذا السؤال. الأولى: أن الخبرة أقنعتنا أن قوانين نظرية الكم صحيحة، وإذا كانت كذلك، فنحن على علم أننا لن نجد واقعة سابقة تعلل الانبعاث في وقت معين. أما الإجابة الثانية: هي أننا على علم بالواقعة السابقة، ولكن ليس بشكل دقيق للغاية. فنحن على علم بالقوى في نواة الذرات التي هي مسؤولة عن انبعاث جسيم ألفا، إلا إن هذه المعرفة تتضمن اللايقين الناجم عن التفاعل بين النواة وبقية العالم. فإذا ما أردنا معرفة سبب انبعاث جسيم ما في وقت محدد علينا أن نعرف البنية الميكروسكوبية للعالم ككل بما فيه أنفسنا، وهذا أمر مستحيل. لذلك، لم تعد حجج كانط المتعلقة بالسمة القبلية لقانون السببية قابلة للتطبيق.

يمكن أن نقدم مناقشة مماثلة للسمة القبلية للمكان والزمان باعتبارهما صورتين حدسيتين، وسنصل إلى النتيجة نفسها. إن المفاهيم القبلية التي اعتبرها كانط حقيقة لا تقبل الجدل لم تعد متضمنة في النسق العلمي للفيزياء الحديثة. إلا إنها ما زالت تشكل جزءًا أساسيًا من هذا النسق، بمعنى مختلف بعض الشيء. أكدنا عند مناقشة تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم أننا نستخدم المفاهيم الكلاسيكية في وصف أدواتنا التجريبية، وبشكل عام في وصف هذا الجزء من العالم الذي لا

ينتمي إلى موضوع التجربة. إن استخدام هذه المفاهيم، بما في ذلك المكان والزمان والسببية، هو في حقيقة الأمر، شرط لملاحظة الوقائع الذرية، وهي قبلية، بكل ما تحمله هذه الكلمة من معنى. أما ما لم يستطع كانط التنبؤ به، أن هذه المفاهيم القبلية قد تكون شروطا للعلم وفي الوقت نفسه يكون مجال قابليتها للتطبيق محدوداً. عندما نجري تجربة علينا أن نفترض تسلسلاً سببيًا للوقائع التي تؤدي إلى الواقعة الذرية عبر الأداة التجريبية؛ وأخيرا عبر عين الملاحظ؛ وإذا لم نفترض هذا التسلسل السببي فلا يمكن أن نعرف شيئا عن الواقعة الذرية. ما زال يتعين علينا أن نضع في اعتبارنا أن الفيزياء الكلاسيكية والسببية لديهما مجالاً محدودًا من القابلية للتطبيق. كانت المفارقة الجوهرية لنظرية الكم هي أن كانط لم يستطع التنبؤ بها. لقد غيرت الفيزياء الحديثة عبارة كانط المتعلقة بإمكانية الأحكام التجريبية القبلية من عبارة ميتافيزيقية إلى عبارة عملية. سيكون للأحكام التركيبية القبلية سمة الصدق النسبي. إذا أعاد المرء تفسير القبلية الكانطية بهذه الطريقة، فإنه ليس هناك سبب يدعونا إلى اعتبار، المدركات الحسية بدلاً من الأشياء، هي خصائص معطاه. يمكن أن نتحدث، كما هو الحال في الفيزياء الكلاسيكية، عن تلك الوقائع التي لا يمكن ملاحظتها بالطريقة نفسها التي نتحدث بها عن تلك التي يمكن ملاحظتها، لذا، فإن الواقعية العملية هي جزء طبيعي من إعادة التفسير. أما إذا نظرنا إلى المفهوم الكانطي "الشيء في ذاته" هذه العبارة التي لاحظ فايتسيكر أن لها مثيلاً صوريًا في الحقيقة على الرغم من استخدام المفاهيم الكلاسيكية في كل التجارب، وبالتالي فإن السلوك غير الكلاسيكي للأشياء الذرية ممكنًا. إن "الشيء في ذاته" وفقًا للفيزيائي الذري، إذا ما استخدم هذا المفهوم أصلاً، هو في النهاية بنية رياضياتية؛ بيد أن هذه البنية، خلافًا لكانط، يتم استنباطها بشكل غير مباشر من الخبرة. ترتبط القبلية في إعادة التفسير هذا، بشكل غير مباشر، بالخبرة بالقدر الذي تم تشكيلها من خلال تطور العقل البشري في الماضي البعيد جدًا.

تابع البيولوجي لورنتز **Lorentz** هذه الحجة ذات مرة مقارنا المفاهيم القبلية بأشكال السلوك في الحيوانات والتي يطلق عليها "الأنماط الوراثية أو الفطرية" وفي حقيقة الأمر، فإن ما هو مقبول تماما أن المكان والزمان بالنسبة لحيوانات بدائية معينة يختلف عما يطلق عليه كانط "حدسنا الخالص" للمكان والزمان. فهذا الأخير ينتمي إلى الجنس البشري، وليس للعالم المستقل عن الإنسان. بيد أننا ربما ندخل في مناقشات افتراضية إذا اتبعنا هذه الملاحظة البيولوجية عن "القبلية". لقد ذكرتها هنا مثالا للكيفية التي يمكن أن نفسر بها "الحقيقة النسبية" في ارتباطها بالقبلية الكانطية.

تم استخدام الفيزياء الحديثة هنا مثالاً، أو يمكننا القول، نموذجًا للتحقق من نتائج بعض الأنساق الفلسفية المهمة في الماضي، و التي كان من المفترض أن تسري على مجال أوسع. ربما يمكننا عرض ما تعلمناه من مناقشة فلسفة ديكارت وكانط على النحو التالي: ليس ثمة معنى قاطعًا حقًا لأي من المفاهيم والكلمات التي تشكلت في الماضي عبر التفاعل بين العالم وذواتنا. أعني أننا لا نعرف بالضبط إلى أي مدي سوف يساعدنا في معرفة طريقنا في العالم. كثيرا ما نعرف أننا يمكننا تطبيق هذه المفاهيم والكلمات على مجال أرحب من مجالات الخبرة الداخلية والخارجية، بيد أننا عمليًا لا يمكننا بدقة معرفة حدود تطبيقاتها. وهذا صحيح حتى بالنسبة لأكثر المفاهيم بساطة وعمومية مثل "الوجود" و"المكان" و"الزمان"، لذا قد يبدو مستحيلاً أن يصل العقل لخالص إلى الحقيقة المطلقة.

ومع ذلك فقد تكون المفاهيم واضحة تمامًا بالنسبة لعلاقاتها. هذا صحيح فعلاً عندما تصبح المفاهيم جزءًا من نسق البديهيات والتعريفات التي يمكن التعبير عنها بنسق رياضياتي. ويجوز لهذه المجموعة من المفاهيم المتصلة أن تنطبق على نطاق واسع من الخبرة وهذا يساعدنا على إيجاد طريقنا داخل هذا المجال. لكن تظل حدود القابلية للتطبيق غير معروفة بوجه عام، أو على الأقل ليس بشكل كامل. حتى لو

أدركنا أن تحديد معنى مفهوم ما لا يمكن أن يكون دقيقًا بشكل مطلق البتة، فإن ثمة بعض المفاهيم تشكل جزءًا متممًا للمناهج العملية، لأنها تمثل في الوقت الحاضر النتيجة النهائية لتطور التفكير البشري في الماضي، حتى في الماضي البعيد جدًا، قد تكون هذه المفاهيم موروثة وتكون، على أيه حال، أدوات لا غنى عنها لإجراء البحث العلمي في زماننا. بهذا المعنى تكون هذه المفاهيم قبلية من الناحية العملية. بيد أننا يمكن العثور مستقبلاً على مزيد من القيود لقابليتها للتطبيق.

٦- علاقة نظرية الكم بفروع العلوم الطبيعية الأخرى

ذكرنا فيما سبق أن مفاهيم العلوم الطبيعية يمكن معرفتها بوضوح من خلال علاقاتها. تم إدراك هذه الإمكانية لأول مرة في كتاب "المبادئ" لنيوتن(*)، ولهذا السبب بالتحديد كان التأثير الهائل لعمل نيوتن على تطور العلوم الطبيعية ككل في القرون التالية. يبدأ نيوتن كتابه "المبادئ" بمجموعة من التعريفات والبديهيات المتشابكة مع بعضها بعضا بطريقة تشكل ما يمكن أن نطلق عليه "نسقا مغلقا" يمكن أن نمثل كل مفهوم برمز رياضياتي، ونمثل للعلاقات بين المفاهيم المختلفة لمعادلات رياضياتية برموز. تضمن الصورة الرياضياتية هذه عدم حدوث أي تناقضات داخل النسق. بهذه الطريقة يمكن تمثيل حركات الأجسام المختلفة تحت تأثير القوى الفعالة بحلول ممكنة لهذه المعادلات. ويمكن النظر إلى نسق التعريفات والبديهيات الذي يتم كتابته في مجموعة من المعادلات الرياضية على أنه وصف لبنية أزلية للطبيعة. هذه البنية لا تتوقف على مكان خاص أو زمان بذاته.

إن الارتباط بين المفاهيم المختلفة في هذا النسق متقاربة للغاية، بحيث لا يمكن للمرء بوجه عام أن يغير أيًا منها دون تقويض دعائم النسق ككل. لهذا السبب كان يتم اعتبار نسق نيوتن لفترة طويلة نسقًا نهائيًا، وكانت مهمة العلماء في هذه

(*) سيطر إسحاق نيوتن على مجمل التفكير العلمي طيلة ثلاثة قرون، حيث وضع أسس الفيزياء الكلاسيكية وذلك في كتابه "المبادئ الرياضياتية للفلسفة الطبيعة" الذي نشر عام ١٦٨٧. هذه السيطرة جاءت عن طريق برنامج ثلاثي الخطوات: تمثل الخطوة الأولي تبسيط الظواهر الطبيعية لكي تكون قابلة للتصور الرياضياتي، فالعالم كما تصورته الفيزياء الكلاسيكية هو عالم رياضياتي بحت، أي عالم قوامه نقاط مادية متحركة في مكان وزمان رياضيين وفقًا لقوانين ومعادلات رياضياتية صارمة مما أدى إلى استبعاد كل ما هو غير رياضياتي، أو ما لا يمكن رده بطريقة كمية للرياضيات. أما الخطوة الثانية من خطوات البرنامج النيوتونى فتتلخص في استخلاص النتائج اللازمة عن النظام التصوري وإجراء التعديلات التي تكفل الاقتراب من الواقع التجريبي. وأخيرًا ضرورة التحقق من أن التعديلات السابقة قد أدت إلى توافق النتائج مع المشاهدات. (المترجم)

الفترة هي التوسع في ميكانيكا نيوتن إلى مجالات أوسع من الخبرة. تطورت الفيزياء، في حقيقة الأمر، وفقًا لهذا النسق على مدار نحو قرنين من الزمان.

يمكن للمرء المرور من نظرية حركة نقاط الكتلة إلى ميكانيكا الأجسام الصلبة، إلى الحركات الدوارة، كما يمكنه معالجة الحركات المتصلة للسائل أو الحركات الاهتزازية لجسم مرن. فقد تطورت هذه الأجزاء من الميكانيكا أو الديناميكا تدريجيًا في علاقة وثيقة مع تطور الرياضيات، بخاصة حساب التفاضل، كما خضعت النتائج لاختبار تجريبي. وأصبحت الصوتيات وديناميكا السوائل جزءًا من الميكانيكا، وكان تطبيق ميكانيكا نيوتن واضحًا في علم آخر هو علم الفلك. لقد أدت التحسينات التي دخلت على المناهج الرياضياتية تدريجيًا إلى المزيد والمزيد من الدقة في حركات الكواكب وتفاعلاتها المتبادلة، وعندما تم اكتشاف ظاهرتي الكهرباء والمغناطيسية، وتم مقارنة القوى الكهربائية أو المغناطيسية بقوى الجاذبية وآثارها على حركة الأجسام التي تم دراستها على غرار ميكانيكا نيوتن، وأخيرًا، في القرن التاسع عشر، أمكن رد نظرية الحرارة إلى الميكانيكا عبر افتراض أن الحرارة تتكون فعليا من حركة إحصائية معقدة لأصغر أجزاء المادة. من خلال الجمع بين مفاهيم النظرية الرياضياتية للاحتمال ومفاهيم الميكانيكا النيوتونية تمكن كل من كلوسيوس **Clausius** وجيبس **Gibbs** وبولتسيمان **Boltzmann** من توضيح أنه يمكن تفسير القوانين الأساسية في نظرية الحرارة باعتبارها قوانين إحصائية تنتج عن ميكانيكا نيوتن عند تطبيقها على الأنساق الميكانيكية المعقدة. حتى هذه المرحلة تم اختبار البرنامج الذي وضعته الميكانيكا النيوتونية بصورة متماسكة للغاية، وأدى إلى فهم حقل واسع من الخبرة. وقد ظهرت أولى الصعوبات في مناقشات الحقل الكهرومغناطيسي في بحث فاراداي وماكسويل. فقوى الجاذبية في الميكانيكا النيوتونية تعتبر من المعطيات، وليست موضوعًا يخضع لمزيد من الدراسات النظرية. ومع ذلك، فإن مجال القوة ذاته أصبح في بحث فاراداي

وماكسويل، موضوع للبحث؛ أراد الفيزيائيان معرفة كيف يختلف مجال القوة باعتبارها دالة عن المكان والزمان. لذلك، حاولا أن يضعا معادلات لحركة المجالات، بدلاً من أن يضعا قانونا للأجسام التي تقوم عليها تلك المجالات. أدى هذا التغير مرة أخرى إلى وجهة نظر اعتنقها العديد من العلماء قبل نيوتن. فالفعل، كما بدا لهم، يمكن أن ينتقل من جسم إلى آخر فقط إذا تلامس الجسمان مع بعضهما بعضًا، بالتصادم مثلاً أو بالاحتكاك.

قدم نيوتن فرضًا جديدًا أو غريبا للغاية عندما افترض أن القوة تعمل على مسافة طويلة. يستطيع المرء الآن من نظرية مجالات القوة أن يرجع إلى الفكرة الأقدم القائلة: إن الفعل ينتقل من نقطة إلى أخرى مجاورة، فقط من خلال وصف سلوك المجالات في حدود معادلات تفاضلية. وقد ثبت أن هذا الفعل ممكن، ومن ثم بدا الوصف على هذا النحو الوارد في معادلات ماكسويل حلاً مُرضيا لمشكلة القوة.

هنا قد تغير فعلا البرنامج الذي قدمته الميكانيكا النيوتونية. فقد كانت البديهيات والتعريفات التي قدمها نيوتن تشير إلى الأجسام وحركاتها، أما مجالات القوة مع ماكسويل، على ما يبدو، قد اكتسبت الدرجة نفسها من الواقعية التي تعادل واقعية الأجسام في نظرية نيوتن. بطبيعة الحال لم يكن لهذا الرأي أن يقبل بسهولة، ولكن لكي نتجنب مثل هذا التغير في مفهوم الواقع بدا من المعقول مقارنة المجالات الكهرومغناطيسية بمجالات التشوه المرن أو الإجهاد - مقارنة موجات الضوء في نظرية ماكسويل بموجات الصوت في الأجسام المرنة. لذلك، اعتقد كثير من الفيزيائيين أن معادلات ماكسويل تشير فعليًا إلى تشوهات الوسط المرن وأطلقوا عليه الأثير، وقد أُعطى هذا الاسم لتوضيح أن الوسط على درجة من الخفة والرشاقة بحيث يمكن أن يخترق مادة أخرى دون أن نراه أو نشعر به. لم يكن هذا التفسير مرض تمامًا؛ لأنه لا يفسر الغياب الكامل لأية موجات ضوء طويلة.

أظهرت أخيرا نظرية النسبية، التي ستتم مناقشتها في الفصل التالي. أنه لا بد من أن نتخلى بشكل حاسم عن مفهوم الأثير باعتباره جوهرا، وهو المفهوم الذي تشير إليه معادلات ماكسويل، لا يمكننا أن نناقش هنا هذه النقطة، بيد أن النتيجة كانت، ضرورة اعتبار المجالات واقعا مستقلا. ثمة نتيجة ما زالت أكثر غرابة نتجت عن نظرية النسبية الخاصة وهي اكتشاف خصائص جديدة للمكان والزمان، هذه العلاقة بين المكان والزمان لم تكن معروفة، من قبل، ولم تكن موجودة في الميكانيكا النيوتونية.

وقد توصل العديد من الفيزيائيين، تحت تأثير هذا الوضع الجديد تماما، إلى نتيجة، وإن كانت متسرعة إلى حد ما، مؤداها: أنه قد تم أخيرا تفنيد الميكانيكا النيوتونية. فالواقع الأولى هو المجال وليس الجسم، وإن الوصف الصحيح لبنية المكان والزمان جاء من قبل صيغ لورنتز وآينشتين وليس من قبل بديهيات نيوتن. تقدم ميكانيكا نيوتن قيم تقريبية جيدة في حالات كثيرة، ولكن يجب إدخال تحسينات عليها لتعطى وصفا أكثر دقة للطبيعة.

إن العبارة التي توصلنا إليها أخيرا من وجهة نظر نظرية الكم تبدو وصفا فقيرا للغاية للوضع الفعلي. فهي أولا تتجاهل حقيقة أن معظم التجارب التي يتم من خلالها قياس المجالات، ترتكز على الميكانيكا النيوتونية، وثانيا، إنه لا يمكن إدخال تحسينات على الميكانيكا النيوتونية، بل يمكن استبدالها بشيء مختلف تماما.

لقد تعلمنا من تطور نظرية الكم أن المرء ينبغي أن يصف الموقف في الحدود التالية، حيث يمكن استخدام مفاهيم الميكانيكا النيوتونية لوصف الوقائع في الطبيعة، وأن القوانين التي صاغها نيوتن في هذا الصدد صحيحة تمامًا، ولا يمكن إدخال تحسينات عليها. لكننا لا يمكن وصف الظواهر الكهرومغناطيسية على نحو كاف باستخدام مفاهيم الميكانيكا النيوتونية. إلا إن التجارب في المجالات الكهرومغناطيسية وموجات الضوء، جنبًا إلى جنب مع التحليل النظري الذي قدمه

كل من لورنتز وماكسويل وآينشتين قد أدت إلى نسق مغلق جديد من التعريفات والبديهيات والمفاهيم التي يمكن التعبير عنها برموز رياضياتية، والذي هو مترابط بالمعنى المستخدم نفسه في نسق ميكانيكا نيوتن، ولكن بطريقة مختلفة تماماً.

ولذلك، لا بد من تغير تلك الآمال التي رافقت عمل العلماء منذ نيوتن. فالتقدم الواضح في العلم لا يتحقق دائمًا إلا باستخدام قوانين الطبيعة المعروفة لتفسير الظواهر الجديدة. ففي بعض الحالات فقط يمكن فهم الظواهر الجديدة التي تم ملاحظتها بمفاهيم جديدة تم صياغتها بحيث تتوافق مع الظواهر الجديدة بالطريقة نفسها التي صيغت بها مفاهيم نيوتن لكي تتوافق مع الوقائع الميكانيكية. مرة أخرى، هذه المفاهيم الجديدة ترتبط بنسق مغلق ويتم التعبير عنها برموز رياضياتية. لكن إذا كانت الفيزياء، أو العلوم الطبيعية بوجه عام تقدمت بهذه الطريقة، فإن السؤال المثار هنا: ما العلاقة بين مجموعات مختلفة من المفاهيم؟ إذا ظهرت نفس المفاهيم نفسها أو الكلمات في مجوعتين مختلفتين، وتم تعريفها بشكل مختلف فيما يتعلق بعلاقاتها وتمثلاتها الرياضياتية. بأي معنى يمكن لهذه المفاهيم أن تمثل الواقع؟

لقد برزت هذه المشكلة عند اكتشاف نظرية النسبية الخاصة. حيث ينتمي مفهومي المكان والزمان إلى كل من الميكانيكا النيوتونية ونظرية النسبية، بيد أن مفهومي الزمان والمكان كانا مستقلين في الميكانيكا النيوتونية؛ بينما مرتبطان في نظرية النسبية عن طريق تحويل لورنتز **Lorentz Transformation**. يمكن للمرء في هذه الحالة الخاصة أن يظهر أن عبارات نظرية النسبية تقترب من عبارات الميكانيكا النيوتونية عندما تكون سرعات النظام أقل كثيرًا من سرعة الضوء. من هنا لا يمكن تطبيق المفاهيم النيوتونية على الوقائع التي تظهر فيها السرعات التي تقترب من سرعة الضوء. ومن ثم يمكن للمرء، في نهاية المطاف، أن يكتشف حدودًا جوهرية للميكانيكا النيوتونية، لا يمكن رؤيتها إلا من خلال مجموعة من المفاهيم المترابطة وليس من الملاحظات البسيطة للنظم الميكانيكية.

وهكذا فإن العلاقة بين مجموعتين من المفاهيم المترابطة تتطلب بحثًا دقيقًا جدا. وقبل الدخول في مناقشة عامة حول بنية أي مجموعة مغلقة مترابطة من المفاهيم، وعلاقاتها الممكنة، علينا أن نقدم وصفا مختصرا لهذه المجموعات من المفاهيم المعروفة في الفيزياء. يمكن للمرء أن يميز أربعة نظم بلغت بالفعل شكلها النهائي.

المجموعة الأولى هي الميكانيكا النيوتونية والتي ناقشناها بالفعل. فقد كانت مناسبة لوصف كل النظم الميكانيكية، وحركة السوائل، والتذبذب المرن للأجسام، والتي تضم علم الصوتيات، والإستاتيكا، والديناميكا الهوائية.

أما النظام المغلق الثاني من المفاهيم فقد تشكل خلال القرن التاسع عشر في ارتباط بنظرية الحرارة. على الرغم من ارتباط نظرية الحرارة في نهاية الأمر بالميكانيكا من خلال تطور الميكانيكا الإستاتيكية، بيد أنه ليس من الواقعي أن نعتبرها جزءا من الميكانيكا. ففي حقيقة الأمر تستخدم نظرية الحرارة الظاهرياتية (الفينومنيولوجية) عددا من المفاهيم التي لا يوجد ما يقابلها في أفرع الفيزياء الأخرى، مثل: الحرارة، والحرارة النوعية و الأنتروبي، والطاقة الحرة وهلم جرا. فإذا استطاع المرء أن ينتقل من هذا الوصف الظاهرياتي إلى التفسير الإحصائي، وذلك باعتبار الحرارة طاقة، تتوزع إحصائيا بين عدد كبير جدًا من درجات الحرية التي ترجع إلى البنية الذرية للمادة، عندئذ لا يكون ثمة ارتباط بين الحرارة والميكانيكا ليس أكثر من ارتباط بالديناميكا الكهربائية أو بأي أجزاء أخرى في الفيزياء. إن المفهوم الأساسي في هذا التفسير هو مفهوم الاحتمالية، الذي يرتبط، بشكل وثيق، بمفهوم الأنتروبيا في النظرية الظاهرياتية. بالإضافة إلى هذا المفهوم، تحتاج النظرية الإحصائية للحرارة مفهوم الطاقة. بيد أن أية مجموعة مترابطة من البديهيات والمفاهيم في الفيزياء تحوي بالضرورة مفاهيم الطاقة، وكمية الحركة وكمية الحركة الزاوية والقانون، حيث يتم حفظ هذه المقادير وفق شروط محددة. وهذا يحدث بالضرورة إذا كانت هذه المجموعة المترابطة عازمة على وصف الخصائص المحددة للطبيعة التي هي صحيحة في كل وقت وفي كل مكان،

بعبارة أخرى، لا تتوقف هذه السمات على المكان والزمان، أو – كما يقول الرياضيون – تظل هذه السمات ثابتة تحت التحولات التحكمية في المكان والزمان، و الدورانات في المكان وتحولات جاليليو – أو لورنتز – ومن ثم، يمكن الجمع بين نظرية الحرارة وأي نظام مغلق آخر من المفاهيم.

نجد أصول النظام المغلق الثالث للمفاهيم و البديهيات في ظاهرتي الكهرباء والمغناطيسية، حيث بلغ هذا النظام صورته النهائية في العقد الأول من القرن العشرين من خلال أعمال لورنتز وآينشتين و منيكوفسكي. حيث يضم هذا النظام، الديناميكا الكهربائية، والنسبية الخاصة، والبصريات والمغناطيسية، ويمكن أن يضم المرء نظرية بروى عن موجات المادة المواكبة لكل الضروب المختلفة للجسيمات الأولية، ولكن لا يمكن ضم النظرية الموجية لشرودنجر.

في نهاية المطاف، يأتي النظام المترابط الرابع الذي هو أساسا نظرية الكم التي وصفناها في أول فصلين. فالمفهوم الأساسي هو مفهوم دالة الاحتمال، أو "المصفوفة الإحصائية"، كما يطلق عليها علماء الرياضيات. فهي تضم الميكانيكا الكمية والموجية، ونظرية الأطياف الذرية، والكيمياء ونظرية الخصائص الأخرى للمادة الموصلية الكهربائية، المغناطيسية الحديدية وهلم جرا.

يمكن توضيح العلاقة بين هذه المجموعات الأربع من المفاهيم بالطريقة التالية: حيث تتضمن المجموعة الأولى من الثالثة، كحالة حدية حيث يمكن اعتبار سرعة الضوء لا متناهية في الكبر، وتتضمن في المجموعة الرابعة كحالة حدية حيث يمكن اعتبار ثابت بلانك لا متناهيًا في الصغر. تنتمي المجموعة الأولى والثالثة جزئيًا إلى المجموعة الرابعة باعتبارها معرفتين قبليتين لوصف التجارب. ويمكن أن ترتبط المجموعة الثانية مع أي من المجموعات الثلاث الأخرى دون

أدنى صعوبة حيث تستمد أهميتها من علاقتها بالمجموعة الرابعة. هذا الوجود المستقل للمجموعتين الثالثة والرابعة يفترض وجود مجموعة خامسة. حيث تعتبر المجموعات الأولى والثالثة والرابعة حالات حدية لها. ربما نجد هذه المجموعة الخامسة يوما ما مرتبطة بنظرية الجسيمات الأولية.

لقد أسقطنا من هذه القائمة مجموعة المفاهيم المرتبطة بنظرية النسبية العامة، ذلك لأن هذه المجموعة لم تبلغ بعد صورتها النهائية. لكن علينا أن نؤكد أنها تختلف اختلافًا تامًا عن المجموعات الأربعة الأخرى.

يمكن أن نعود بعد هذه النظرة العابرة إلى السؤال الأكثر عمومية وهو، ما الذي يجب أن نعتبره سمات مميزة للنسق المغلق من البديهيات والتعريفات؟ ربما كان أهم ملمح هو احتمالية إيجاد تمثيل رياضياتى منسق له. يضمن هذا التمثيل عدم وجود تناقضات في هذا النسق، ومن ثم يجب على هذا النسق أن يصف مجالاً واسعًا من الخبرة. هذا التنوع الهائل من الظواهر في هذا المجال يجب أن يتطابق مع عدد كبير من حلول المعادلات في التمثيل الرياضياتي. لا يمكن أن نستنتج بوجه عام من هذه المفاهيم مدى قصور هذا المجال، فالمفاهيم ليست مُعرَّفة بشكل دقيق في علاقتها بالطبيعة رغم التعريف الدقيق لعلاقاتها الممكنة. سيتم التعرف على هذا القصور من الخبرة، من حقيقة أن المفاهيم لا تسمح بوصف كامل للظواهر الملاحظة. بعد هذا التحليل الموجز لبنية الفيزياء المعاصرة يمكن أن نناقش العلاقة بين الفيزياء وغيرها من العلوم الطبيعية. تعد الكيمياء هي أقرب الجيران إلى الفيزياء. ففي حقيقة الأمر فإن هذين العلمين قد وصلا، من خلال نظرية الكم، إلى وحدة مكتملة. إلا إنهما انفصلا منذ مائة عام مضت، فقد كان منهجهما في البحث مختلفا تماما، وكانت مفاهيم الكيمياء في ذلك الوقت لا تجد ما يناظرها في الفيزياء. فقد كانت مفاهيم من قبيل التكافؤ، والفاعلية، والقابلية للذوبان، وسرعة التبخر لها خاصية كيفية، ومن ثم كان من الصعوبة بمكان أن

تندرج الكيمياء ضمن العلوم الدقيقة. وعندما تطورت نظرية الحرارة في منتصف القرن الماضي بدأ العلماء في تطبيقها على العمليات الكيميائية، ومنذ ذلك الحين تم تحديد البحث العلمي في هذا المجال بالتطلع إلى رد قوانين الكيمياء إلى ميكانيكا الذرات. ومع ذلك، علينا أن نؤكد، أن هذا لم يكن ممكنا داخل إطار الميكانيكا النيوتونية. و لكي نقدم وصفا كيفيا لقوانين الكيمياء كان يجب على المرء أن يصيغ نسقا رحبا من المفاهيم في الفيزياء الذرية. وهذا ما تم إنجازه بالفعل في نظرية الكم نهاية المطاف، وهي النظرية التي استمدت جذورها من الكيمياء مثلما استمدت جذورها أيضا من الفيزياء الذرية. لذا كان من السهولة بمكان أن نرى أنه من غير الممكن أن نرد قوانين الكيمياء إلى ميكانيكا نيوتن للجسيمات الذرية، ذلك لأنه يتبدى عن سلوك العناصر الكيميائية درجة من الثبات لا يتوفر بشكل كامل في الأنساق الميكانيكية. هذه النقطة لم تكن مفهومة تماما إلا في إطار نظرية بور للذرة عام ١٩١٣. لهذا يمكن أن ننتهي إلى القول إن مفاهيم الكيمياء هي جزء متمم للمفاهيم الميكانيكية. فإذا ما عرفنا أن الذي يحدد الخصائص الكيميائية لذرة ما هو الحد الأدنى من ثباتها، عندئذ لا يمكننا الحديث، في الوقت نفسه، عن حركة الإلكترونات في الذرة.

من جانب آخر قد تكون العلاقة بين البيولوجيا والفيزياء والكيمياء شبيهة جدًا بتلك العلاقة التي كانت منذ مائة عام مضت بين الكيمياء والفيزياء. فمناهج البيولوجيا تختلف عن تلك المناهج في الفيزياء والكيمياء، كما أن المفاهيم البيولوجية النموذجية لها خاصية كيفية، مقارنة بمفاهيم العلوم الدقيقة. فمفاهيم مثل الحياة، العضو والخلية ووظيفة العضو، والإدراك الحسي ليس لها نظير في الفيزياء أو الكيمياء. من جهة أخرى، معظم التقدم الذي تحقق في البيولوجيا خلال الأعوام المائة الأخيرة جاء جراء تطبيق الكيمياء والفيزياء على حياة الكائن الحي، وإن هدف البيولوجيا في عصرنا هو تفسير الظواهر البيولوجية على أساس

القوانين الفيزيائية والكيميائية المعروفة. مرة أخرى يبزغ سؤال وهو ما إذا كان ثمة تبرير لهذا الأمل. وكما هو الحال في الكيمياء، يمكن للمرء أن يتعلم من الخبرة البيولوجية البسيطة أن الكائنات الحية تكشف عن درجة في الثبات التي لا تتوفر في البنيات العامة المعقدة التي تتكون من أنواع عديدة مختلفة من الجزيئات على أساس القوانين الفيزيائية والكيميائية وحدها، ومن ثم يمكن إضافة قوانين الفيزياء والكيمياء في بعض الأحيان قبل أن نصل إلى فهم كامل للظاهرة البيولوجية. فيما يتعلق بهذا السؤال تم مناقشة وجهتين مختلفتين من النظر في الأدبيات البيولوجية، تشير وجهة النظر الأولى إلى نظرية دارون **Darwin**(*) في التطور وعلاقتها بعلم الوراثة الحديث. إن المفهوم الوحيد، وفق هذه النظرية، الذي يمكن إضافته إلى مفاهيم الفيزياء والكيمياء لفهم الحياة، هو مفهوم التاريخ. إن الحقبة الزمنية الهائلة، التي تبلغ نحو أربعة ملايين عاما والتي مرت منذ تكوين الأرض، قد أتاحت للطبيعة إمكانية تجريب هذا التنوع اللامحدود لبنيات مجموعة من الجزيئات. كان هناك بين هذه البنيات مجموعة استطاعت أن تنسخ نفسها باستخدام مجموعات صغيرة من المادة المحيطة، ومن ثم تمكنت هذه البنيات من التكاثر بأعداد هائلة. وقد وفرت التغيرات العرضية في البنيات تنوعًا كبيرًا في البنيات الموجودة. راحت البنيات المختلفة تتنافس على المادة المستمدة من البيئة المحيطة من خلال طريقة "البقاء للأصلح"، ومن ثم حدث في نهاية المطاف تطور الكائنات الحية. لا شك أن هذه النظرية تحمل قدرًا كبيرًا جدا من الصدق، ويدعي العديد من البيولوجيين أن إضافة مفهومي التاريخ والتطور إلى مجموعة مترابطة من مفاهيم الفيزياء والكيمياء يعد كافيًا لتفسير كل الظواهر البيولوجية. وإحدى الحجج التي تستخدم

(*) لا يستطيع أحد أن ينكر أن كتاب " أصل الأنواع" الذي نشره تشارلز دارون (١٨٠٩-١٨٨٢) عام ١٨٥٩ يمثل انقلابا حقيقيًا في مجال العلم البيولوجي، بل يمثل ثورة علمية كونها أرجعت التطور إلى أصل واحد مشترك تنحدر منه كل الكائنات الحية، فضلاً عن نظريته الثورية فيما يتعلق بالانتخاب الطبيعي التي لاقت معارضة قوية من عدة اتجاهات أصولية وغائية. (المترجم)

مرارا وتكرارًا لدعم هذه النظرية هي: أن قوانين الفيزياء والكيمياء التي تم اختبارها في الكائنات الحية كانت صحيحة؛ وهكذا يبدو بوضوح أن ليس ثمة مكان لوجود "قوة حيوية" تختلف عن قوى الفيزياء.

من جهة أخرى، فإن هذه الحجة بالذات فقدت الكثير من أهميتها بسبب نظرية الكم، فإذا كانت مفاهيم الفيزياء والكيمياء تشكل مجموعة مغلقة ومترابطة، أعني نظرية الكم، لذا من الضروري عند استخدام مفاهيم لوصف الظواهر، أن تكون القوانين المرتبطة بهذه المفاهيم صحيحة أيضًا. لذلك، عندما نعالج الكائنات الحية على أنها أنظمة فيزيوكيميائية، فضروري أن نتصرف بهذه الطريقة. إن السؤال الوحيد الذي يمكن أن يعلمنا شيئًا ما عن مدى ملائمة هذه الوجهة من النظر، هي أن نعرف ما إذا كانت المفاهيم الفيزيوكيميائية تسمح بوصف الكائنات الحية أم لا. أجاب البيولوجيون عن هذا السؤال بالنفي، وتمسكوا بوجهة النظر الأخرى. التي سنعرض تفسيرها في التو.

ربما نعبر عن وجهة النظر الثانية بالمصطلحات التالية: من الصعوبة بمكان أن نرى كيف يمكن لمفاهيم من قبيل الإدراك الحسي، ووظيفة العضو، والعاطفة باعتبارها جزءًا من مجموعة مترابطة من مفاهيم نظرية الكم مضافًا إليها مفهوم التاريخ، من جهة أخرى، هذه المفاهيم تعد ضرورية لوصف متكامل للحياة، حتى لو استثنينا في هذه اللحظة الجنس البشري كونه يثير إشكاليات جديدة تتجاوز البيولوجيا. لذلك كان من الضروري لفهم الحياة أن نذهب فيما وراء نظرية الكم ونشيد مجموعة جديدة مترابطة من المفاهيم يمكن أن تنتمي إليها الفيزياء والكيمياء باعتبارها حالات حدية. ويمكن للتاريخ أن يكون جزءا جوهريا منها، فضلاً عن مفاهيم الإدراك الحسي والتكيف والعاطفة، إذا كانت هذه الوجهة من النظر صحيحة فإن الجمع بين نظرية دارون والفيزياء والكيمياء لا يعد كافيا لتفسير الحياة العضوية، ولكن قد يكون صحيحًا، إلى حد كبير، أن نعتبر الكائنات الحية–

باعتبارها أنظمة فيزيوكيميائية – مجرد آلات، كما يقول ديكارت ولابلاس Laplace[*] – وأنها ستستجيب لذلك إذا تم معالجتها بهذه الطريقة، يمكننا أن نفترض في الوقت نفسه أن معرفتنا بالخلية الحية قد تكون متممة لمعرفة كاملة ببنيتها الجزيئية، وهذا ما افترضه بور. ولما كان الوصول إلى هذه المعرفة الكاملة لهذه البنية إلا بالقضاء على الخلية الحية، فمن الممكن منطقيا أن تحول الحياة دون التحديد الكامل للبنية الفيزيوكيميائية الضمنية. حتى لو اعتنقنا وجهة النظر الثانية، فلن نوصى، على الأرجح، باتباع منهج آخر في البحث البيولوجي غير المنهج المتبع في العقود الماضية؛ محاولة تفسير أكبر قدر ممكن على أساس القوانين الفيزيوكيميائية المعروفة، ووصف سلوك الكائنات بدقة دون تحيزات نظرية.

يعتنق معظم البيولوجيين المحدثين وجهة النظر الأولى أكثر من الثانية، بيد أن الخبرة المتاحة في الوقت الحاضر ليست كافية أن نحسم الأمر فيما يتعلق بهاتين الوجهتين من النظر. أما تفضيل العديد من البيولوجيين لوجهة النظر الأولى يعود ثانية إلى الثنائية الديكارتية التي اخترقت بعمق العقل البشري خلال القرون الماضية. فلما كان "الشيء المفكر" يقتصر على الإنسان، على "الأنا"، وبالتالي لا يكون للحيوانات روح، وتنتمي بشكل كامل إلى "الشيء الممتد". لذلك، يمكن فهم الحيوانات عموما، كما تقول الحجة، بالمصطلحات نفسها التي نفهم بها المادة، وإن الجمع بين قوانين الفيزياء والكيمياء معًا ومفهوم التاريخ أيضا، يصبح كافيًا لتفسير سلوكها. ولا يظهر وضع جديد يستوجب مفاهيم جديدة تماما إلا عندما يتدخل الشيء المفكر. إلا إن الثنائية الديكارتية تعد إفراطًا في التبسيط يؤدي إلى مخاطر جسيمة، لذا من الممكن أن تكون وجهة النظر الثانية صحيحة.

(*) بيير لابلاس (١٧٤٩-١٨٢٧) عالم رياضيات وفلكي فرنسي ساهم في تطور الرياضيات الفلكية من خلال مؤلفه "ميكانيكا الأجرام السماوية". (المترجم)

بعيدًا عن هذا السؤال، الذي لم نحسمه بعد، فإننا ما زلنا بعيدين، بشكل واضح، عن مجموعة المفاهيم المغلقة والمترابطة لوصف الظواهر البيولوجية. إن درجة التعقيد في البيولوجيا تثبط الهمم لدرجة أننا لا يمكن أن نتصور أي مجموعة من المفاهيم يمكن أن تحدد، بشكل قاطع، العلاقات التي تسمح بالتمثيل الرياضياتي.

فإذا ما ذهبنا لأبعد من البيولوجيا وأضفنا علم النفس إلى هذا النقاش، عندئذ ينتفي أي شك من أن مفاهيم الفيزياء والكيمياء والتطور لا تكفي لوصف الوقائع. فيما يتعلق بهذه النقطة فقد غيرت نظرية الكم اتجاهنا إزاء المعتقدات التي كانت سائدة في القرن التاسع عشر. ففي تلك الحقبة كان يميل بعض العلماء إلى الاعتقاد في تفسير الظواهر النفسية على أساس فيزياء وكيمياء المخ. ليس ثمة مبرر لمثل هذا الافتراض من وجهة النظر الكمية النظرية. وعلى الرغم من أن الوقائع الفيزيائية التي تحدث في المخ تنتمي إلى ظواهر نفسية؛ فإننا لا نشك البتة في أن المخ يعمل كآلية سيكوكيميائية (نفس كيميائية) إذا تم التعامل معه على هذا النحو؛ ولكي نفهم الظواهر النفسية علينا أن نبدأ من حقيقة أن العقل البشري يدخل باعتباره موضوعًا وذاتًا معا في العملية العلمية لعلم النفس.

فإذا ما عدنا إلى مجموعات المفاهيم المختلفة التي تشكلت في الماضي أو التي ربما تتشكل في المستقبل في محاولة إيجاد طريقنا في هذا العالم عبر وسائل العلم، فإننا سنجد أنها مرتبة بحسب أهمية الدور الذي يلعبه العنصر الذاتي في هذه المجموعة. يمكن اعتبار الفيزياء الكلاسيكية صورة نتحدث بها عن العالم باعتباره شيئًا منفصلاً تمامًا عن ذواتنا. تطابق المجموعات الأولى من المفاهيم هذه الصورة المثالية، بحيث تتفق المجموعة الأولى وحدها مع "القبلية" في فلسفة كانط.

أما في المجموعة الرابعة مجموعة نظرية الكم، فيدخل الإنسان باعتباره موضوعًا في العلم من خلال الأسئلة التي توجه للطبيعة بمصطلحات قبلية العلوم الإنسانية. لا تسمح نظرية الكم بالوصف الموضوعي الكامل للطبيعة. وربما من الأهمية بمكان

لفهم البيولوجيا فهما كاملا أن يطرح الإنسان مثل هذه الأسئلة حيث ينتمي هو ذاته، باعتباره جنسا، إلى الكائنات الحية، بعبارة أخري، أن نعرف بالفعل ماهية الحياة قبل أن نفرد لها تعريفا علميا، ولكن ربما يتعين علينا أن لا ندخل في تأملات عن البنية المحتملة لمجموعات المفاهيم التي لم تتشكل بعد.

فإذا ما أجرينا مقارنة بين النظام والتصنيفات الأقدم التي تنتمي إلى الحقب المبكرة من العلوم الطبيعية، فسنرى أننا قد قسمنا العالم لا إلى مجموعات مختلفة من الأشياء، ولكن إلى مجموعات مختلفة من العلاقات. فقد كنا نميز، على سبيل المثال في حقبة العلم القديم، مجموعات مختلفة من المعادن والنباتات والحيوانات والبشر. كان يتم اعتبار هذه الأشياء حسب مجموعتها ذات طبائع مختلفة، مصنوعة من مواد مختلفة، ويتجدد سلوكها وفق قوى مختلفة. إلا إننا نعرف الآن أنها جميعا مصنوعة من المادة نفسها، المركبات الكيميائية المختلفة نفسها التي من الممكن أن تدخل في أي شيء، في المعادن كما في الحيوانات أو النبات؛ فضلاً عن أن هذه القوى التي تعمل بين الأجزاء المختلفة للمادة، هي في نهاية المطاف، القوى نفسها التي تعمل في كل نوع على حدة. أما ما يمكن تمييزه هو نوع العلاقة ذات الأهمية في ظاهرة معينة. فعندما نتحدث مثلاً عن فعل القوى الكيميائية، إنما نعنى نوعًا من العلاقة الأكثر تعقيدًا أو حالة مختلفة عن تلك التي تم تفسيرها وفق الميكانيكا النيوتونية. يبدو العالم إذن نسيجًا معقدًا من الوقائع التي تتعاقب فيها أو تتداخل أو تضم أنواعًا مختلفة من العلاقات التي تحدد جوهر الكل.

عندما نمثل مجموعة من العلاقات عبر مجموعة مغلقة ومترابطة من المفاهيم، والبديهيات، والتعريفات والقوانين التي بدورها يعاد تمثيلها بنهج رياضياتي، فإننا في حقيقة الأمر، نعزل هذه المجموعة من العلاقات ونجعلها مثالية بهدف توضيحها. ولكننا حتى عندما نحقق بهذه الطريقة توضيحًا كاملاً، لا نعرف مدى دقة هذه المجموعة من المفاهيم التي تصف الواقع.

يمكن أن نعتبر هذه المثاليات جزءًا من اللغة البشرية التي تشكلت من العلاقة التفاعلية بيننا وبين العالم، ومن استجابات الإنسان لتحدى الطبيعة. يمكن أن نقارن في هذا الصدد بين أساليب الفن المختلفة، لنقل مثلا فن العمارة والموسيقى. يمكن أيضا أن نتعرف على أسلوب الفن من خلال مجموعة من القواعد الصورية المطبقة على مادة هذا الفن بالذات. ربما لا يكون في مقدورنا تمثيل هذه القواعد بالمعنى الدقيق، بمجموعة من المفاهيم الرياضياتية والمعادلات، بل من خلال عناصرها الجوهرية التي لها صلة قوية بالعناصر الجوهرية للرياضيات. فالتساوي والتباين والتكرار والتطابق وبنيات مجموعة محددة، كلها تلعب دورا جوهريا في كل من الفن والرياضيات. عادة ما نحتاج عدة أجيال لتطوير هذا النسق الصوري الذي يطلق عليه، فيما بعد، الأسلوب الفني لتطوير هذا الأسلوب الفني من بداياته البسيطة وحتى الصور المتقنة الغنية التي ميزت كمال هذا الأسلوب. يتركز اهتمام الفنان على عملية البلورة، حيث تتخذ مادة الفن، بفضل فعل الفنان ذاته، صورا متنوعة تتولد من المفاهيم الصورية الأولى لهذا الأسلوب. وما إن يكتمل هذه العملية يبدأ الاهتمام في التناقص، لأن "الاهتمام" يعني أن تنحاز إلى شيء ما، أن تشارك في عملية الحياة حتى تبلغ هذه العملية غايتها في النهاية. يمكن هنا أن نطرح سؤالاً مرة أخرى، وهو إلى أي مدي تمثل القواعد الصورية لهذا الأسلوب الفني واقع الحياة الذي يهدف إليه الفن؟ لا يمكن أن نقطع أن الفن قادرًا على تقرير ذلك من خلال القواعد الصورية. إن الفن دائمًا مثاليًا؛ والمثال يختلف عن الواقع – على الأقل يختلف عن واقع الظلال، كما كان يقول أفلاطون – بيد أن المثالية ضرورية لعملية الفهم.

قد تبدو المقارنة بين مجموعات المفاهيم المختلفة في العلوم الطبيعية مع الأساليب المختلفة في الفن، بعيدة للغاية عن الصدق بالنسبة لهؤلاء الذين يعتبرون أساليب الفن هي نتاجات يحكمها العقل البشري. لهذا يذهب هؤلاء إلى القول، إن

هذه المجوعات المختلفة من المفاهيم في العلوم الطبيعية، والتي تمثل الواقع الموضوعي، تعلمناها من الطبيعة، فهي ليست تحكمية على الإطلاق، فضلا عن كونها نتيجة ضرورية للزيادة التدريجية لمعرفتنا التجريبية بالطبيعة. فيما يتعلق بهذه النقطة يتفق معظم العلماء؛ ولكن هل الأساليب المختلفة للفن هي نتاج تحكمي للعقل البشري؟ لا يجب هنا أن تضللنا مرة أخرى الثنائية الديكارتية. ينشأ التفاعل بيننا وبين العالم، أو بشكل أكثر تحديدًا، بين روح العصر والفنان. ربما تكون روح العصر حقيقة موضوعية مثل أية حقيقة في العلوم الطبيعية، تجلب هذه الروح سمات محددة للعالم، مستقلة عن الزمن، وهي بهذا المعنى أزلية. يحاول الفنان من خلال عمله أن يجعل هذه السمات قابلة للفهم، وهذه المحاولة هي التي تؤدي به إلى صور الأسلوب الفني الذي يعمل وفقا لها.

وعلى هذا فإن العمليتين، عملية العلم وعملية الفن، لا يختلفان كثيرًا. فكلاهما يشكل، عبر القرون، اللغة البشرية التي نستطيع من خلالها التحدث عن أكثر الأجزاء بعدًا عن الواقع، فضلاً عن أن مجموعة المفاهيم المترابطة، بالإضافة إلى الأساليب المختلفة للفن، هي كلمات أو مجموعة كلمات في هذا اللغة.

٧ـ نظرية النسبية

لعبت نظرية النسبية دورًا مهما للغاية داخل مجال الفيزياء الحديثة. وبفضل هذه النظرية، تم إدراك، ولأول مرة، ضرورة تغيير المبادئ الأساسية للفيزياء. لذلك فإن مناقشة تلك المشكلات التي أثارتها نظرية النسبية، وتوصلت إلى حل جزئي لها، ترتبط ارتباطا وثيقا بمعالجتنا للمضامين الفلسفية للفيزياء الحديثة. وعلى عكس نظرية الكم، يمكننا القول بمعنى ما، إن تطور نظرية النسبية، من الاعتراف النهائي بالصعوبات وحتى تقديم حلول لها، لم يستغرق وقتا طويلا. ظهر لأول مرة دليل على استحالة الكشف عن الحركة الانسحابية بالمناهج البصرية بعد ما كرر مورلي وميلر عام ١٩٠٤ تجربة ميكلسون(*)، بعد أقل من عامين ظهر بحث آينشتين الحاسم. من جهة أخرى، كانت تجربة مورلي وميلر وبحث آينشتين بمثابة الخطوات النهائية لتطور بدأ قبل ذلك بكثير، هذا التطور يمكن تلخيصه في هذا العنوان "الديناميكا الكهربائية للأجسام المتحركة".

واضح أن الديناميكا الكهربائية للأجسام المتحركة كانت تمثل حقلاً مهما في الفيزياء والهندسة عندما تم إنشاء المحركات الكهربائية. إلا إن ثمة مشكلة خطيرة ظهرت في هذا الموضوع، بعد ما اكتشف ماكسويل الطبيعة الكهرومغناطيسية لموجات الضوء. هذه الموجات التي تختلف عن الموجات الأخرى في خاصية واحدة جوهرية، عن موجات الصوت، مثلاً تنتشر فيما يبدو أنه حيز فارغ، عندما يدق جرس في إناء تم تفريغه من الهواء، فإن الصوت لا يصل إلى الخارج. في حين أن الضوء يمكن أن يخترق بسهولة خلال الحيز الذي تم تفريغه. لهذا تم

(*) تجربة ميكلسون – مورلي **Michelson - Morley experiment**: تجربة أجريت في محاولة لقياس سرعة الأرض في الوسط الأثيري. (المترجم)

افتراض أن موجات الضوء تعتبر موجات مرنة من جوهر خفيف للغاية يطلق عليه الأثير Ether(*) الذي لا يُرى ولا يُحس، ورغم ذلك يملأ حيز الفراغ كما يملأ المكان الذي توجد به مواد أخرى، مثل الهواء والزجاج. لم يتراءي للفيزيائيين في ذلك الوقت أن فكرة الموجات الكهرومغناطيسية قد تكون واقعًا مستقلا عن أي أجسام، ولما كان بدا الجوهر الافتراضي للأثير متخللاً في كل مادة؛ فقد طُرح هذا السؤال: ماذا يحدث عندما تتحرك المادة؟ هل يشارك الأثير في هذه الحركة - وإذا كان ذلك كذلك، كيف تنتشر موجة الضوء في الأثير المتحرك؟

إن التجارب المتعلقة بهذا السؤال تعد صعبة للغاية لهذا السبب: فسرعة الأجسام المتحركة تكون في الغالب أصغر مقارنة بسرعة الضوء. لذلك فإن حركة هذه الأجسام لا تقدم سوى آثار طفيفة للغاية تتناسب مع حاصل قسمة سرعة هذه الأجسام على سرعة الضوء، أو حتى في وجود أس أعلى لهذه النسبة. في العديد من التجارب التى أجراها كل من ويلسون **Wilson** ورولاند **Rowland** ورونتجن **Roentgen** وأيشنفالد **Eichenwald** وفيزو **Fizeau** تم قياس هذه الآثار بدقة تناظر الأس الأول لهذه النسبة. تمكنت نظرية الإلكترونات التى أدخل عليها لورنتز تعديلات في عام ١٨٩٥ من وصف هذه الآثار بطريقة مرضية تمامًا. إلا إن تجربة ميكلسون ومورلى وميلر قد خلقت وضعًا جديدًا.

ولكي نحصل على آثار أكبر، ومن ثم نتائج أكثر دقة علينا أن نناقش هذه التجربة بالتفصيل، حيث يستدعى هذا إجراء تجارب على أجسام ذات سرعة كبيرة للغاية. فالأرض تتحرك حول الشمس بسرعة تقدر بنحو ٢٠ ميل/ ثانية. فإذا ما كان الأثير ساكنا بالنسبة للشمس ولا يتحرك مع الأرض، فإن هذه الحركة السريعة للأثير بالنسبة للأرض تظهر باعتبارها تغيرًا في سرعة الضوء. هذه السرعة لا بد

(*) الأثير وسط افتراضي كان يظن أنه يملأ كل الفضاء وأنه المسؤول عن نقل الموجات الكهرومغناطيسية. (المترجم)

من أن تختلف عن القيمة السابقة إذا كان انتشار الضوء في اتجاه موازٍ لحركة الأثير أو عمودي عليه. حتى لو كان الأثير يتحرك جزئيًا مع الأرض، فلا بد من أن ينتج عن هذا الأثير ما يمكن أن نطلق عليه ريح الأثير، هذا الأثير قد يتوقف إذن على ارتفاع المكان الذي تجرى فيه التجارب، عن مستوى سطح البحر. أظهر حساب هذا الأثير المتوقع أنه صغير للغاية، بأنه يتناسب مع مربع نسبة سرعة الأرض على سرعة الضوء، ومن ثم علينا أن نجرى التجارب بعناية شديدة فيما يتعلق بتداخل شعاعين من الضوء يتحرك أحدهما بشكلٍ متوازٍ لسرعة حركة الأرض والآخر عمودي عليها.

أجرى ميكلسون عام ١٨٨١ أول تجربة من هذا النوع، والتى لم تكن دقيقة بشكلٍ كافٍ حتى عندما أعيد أجراؤها فيما بعد لم تظهر أدنى إشارة للأثير المتوقع. إلا إن تجارب مورلى وميلر بصفة خاصة التى أجرياها عام ١٩٤٠ قدمت دليلا على عدم وجود أي أثير بهذا الحجم.

هذه النتيجة على غرابتها جاءت متفقة مع وجهة نظر أخرى كانت موضع مناقشة الفيزيائيين منذ وقت مضي، ففي الميكانيكا النيوتونية يوجد "مبدأ النسبية" والذي يمكن وصفه كالتالى:

إذا كانت الحركة الميكانيكية للأجسام في أي نظام مرجعي محدد تتفق مع قوانين الميكانيكا النيوتونية، فسيكون هذا صحيحا أيضًا بالنسبة لأي إطار مرجعي آخر ما دام في حركة منتظمة غير دوارة بالنسبة للنظام الأول، وهذا يعني، بعبارة أخرى، أن الحركة الانسحابية المنتظمة للنظام لا ينتج عنها أى آثار ميكانيكية على الإطلاق، ومن ثم لا يمكن أن نلاحظها من خلال هذه الآثار.

تراءى للفيزيائيين أن مبدأ النسبية لا يكون صحيحًا في البصريات أو الديناميكا الحرارية، فإذا كان النظام الأول ساكنًا بالنسبة للأثير، فيتم إدراك حركة النظم الأخرى بالنسبة للأثير عن طريق آثارها وفقا للنمط الذي أقره ميكلسون. إلا

إن النتيجة السلبية التى نتجت عن تجربة مورلى وميلر عام ١٩٠٤ أحيت فكرة أن مبدأ النسبية قد يكون صحيحا في الديناميكا الكهربائية كما في الميكانيكا النيوتونية.

من جهة أخرى، كانت هناك تجربة قديمة أجراها فيزو عام ١٨٥١، تبدو متناقضة تماما مع مبدأ النسبية. فقد أجرى فيزو قياسا لسرعة الضوء في سائل متحرك. فإذا كان مبدأ النسبية صحيحا فإن سرعة الضوء في السائل المتحرك ينبغي أن تكون حاصل جمع سرعة السائل مضافا إليها سرعة الضوء في السائل الساكن. إلا إن التجربة لم تمض على هذا النحو، فقد أظهرت تجربة فيزو أن السرعة الكلية كانت أقل من ذلك بعض الشيء. ورغم النتائج السلبية لكل التجارب الأكثر حداثة لإدراك الحركة بالنسبة للأثير؛ فإنها أثارت المهتمين بالفيزياء النظرية والرياضيين في ذلك الوقت للبحث عن تفسيرات رياضياتية للتوفيق بين المعادلة الموجية لانتشار الضوء ومبدأ النسبية، اقترح لورنتز في عام ١٩٠٤ تحويلاً رياضياتيا يحقق هذه الاحتياجات. لقد قدم فرضا أن الأجسام المتحركة تتقلص في اتجاه الحركة بمعامل يتوقف على سرعة الجسم، وأن هناك في الأنظمة المرجعية المختلفة أزمنة "ظاهرة" مختلفة، هذه الأزمنة تحل محل الزمن "الواقعي" بهذه الطريقة توصل لورنتز إلى شيء يشبه مبدأ النسبية وهو، إن السرعة "الظاهرة" للضوء هي نفسها في كل نظام مرجعي. وقد ناقش بوانكاريه **Poincaré** وفيتزجيرالد **Fitzgerald** وغيرهما من الفيزيائيين أفكارا من هذا القبيل.

إلا إن الخطوة الحاسمة جاءت في بحث آينشتين الذي نشر في عام ١٩٠٥، حيث أثبت أن الزمن "الظاهري" لتحويل لورنتز هو الزمن "الواقعي" واستبعد ما اسماه لورنتز الزمن "الواقعي". كان هذا التغير في أسس الفيزياء تغيرا جذريًا وغير متوقع وكان يتطلب هذا جرأة شاب عبقري وثوري. كان اتخاذ هذه الخطوة، في التمثيل الرياضياتى للطبيعة، لا يتطلب أكثر من تطبيق متماسك لتحويل لورنتز. بيد أن تفسيراتها الجديدة قد أحدثت تغيرًا في بنية المكان والزمان، كما ألقت الضوء

على العديد من مشاكل الفيزياء. فعلى سبيل المثال أصبح ممكنا استبعاد جوهر الأثير تمامًا. ولما كانت كل الأنظمة المرجعية الموجودة في الحركة الانسحابية منتظمة مع بعضها بعضًا، ولما كانت متساوية في وصف الطبيعة، فلا معنى للعبارة التى تقول إن هناك جوهر وهو الأثير الساكن في واحد فقط من تلك النظم. في حقيقة الأمر لسنا في حاجة إلى مثل هذا الجوهر، والأسهل أن نقول إن موجات الضوء تنتشر خلال الحيز الفارغ، وإن المجالات الكهرومغناطيسية لديها واقعها المستقل وتوجد في الحيز الفارغ.

بيد أنه من الصعوبة بمكان أن نصف هذا التغير الحاسم في بنية المكان والزمان بمفردات اللغة الدارجة، دون استخدام لغة الرياضيات، ولما كانت الكلمتين الشائعتين "المكان" و"الزمان" يشيران إلى بنيتين مثاليتين وتبسيط مفرط للبنية الحقيقية. إلا إنه يتعين علينا محاولة وصف البنية الجديدة، وربما يمكن إنجاز ذلك بالطريقة التالية: عندما نستخدم مصطلح "الماضي" ندرج تحته كل الوقائع التى يمكن أن نعرفها، أو سمعنا بها على الأقل من حيث المبدأ. يمكن أن ندرج تحت مصطلح "مستقبل" بالطريقة نفسها تلك الوقائع التى لها تأثير، على الأقل، من حيث المبدأ، والتى يمكن أن نحاول تغييرها أو استبعادها، على الأقل من حيث المبدأ. ليس من السهل بالنسبة لغير الفيزيائي أن يعرف السبب أن تعريف مصطلحات من قبيل "الماضي" و"المستقبل" هو الأكثر ملائمة. ولكن يمكن أن نرى بسهولة أنه يناظر تمامًا استخدامنا المعتاد لهذين المصطلحين. فإذا ما استخدمنا هذين المصطلحين بهذه الطريقة، فإن ثمة نتائج لتجارب عديدة تؤكد أن محتوى "المستقبل" أو"الماضي" لا يتوقف على حالة الملاحظ من حيث الحركة أو بأية خصائص أخرى. يمكننا القول إن هذا التعريف ثابت غير متغير مع حركة الملاحظ، وهذا صحيح في كل من الميكانيكا النيوتونية ونظرية النسبية لآينشتين. لكن الفارق هو، أننا نفترض في النظرية الكلاسيكية أن المستقبل منفصل عن

الماضي بفترة غاية في القصر، نطلق عليها اللحظة الحاضرة. أما في نظرية النسبية فإن الوضع يختلف، فهناك فترة زمنية متناهية وفاصلة بين المستقبل والماضي، يتوقف طولها على المسافة بين الواقعة الملاحظة والملاحظ، لان أي فعل ينتشر بسرعة أقل من سرعة الضوء أو تساويها. لذلك، فإن الملاحظ، لا يمكنه في لحظة ما، أن يعرف أي واقعة أو أن يؤثر فيها، إذا كان على مبعدة في فترة زمنية تقع بين فترتين زمنيتين متمايزين، الفترة الزمنية الأولى يصدر عنها إشارة ضوئية من مكان الواقعة لتصل إلى الملاحظ لحظة الملاحظة ذاتها. أما الفترة الزمنية الثانية فينطلق فيها إشارة ضوئية من الملاحظ لحظة الملاحظة ذاتها. إن الفترة الزمنية المتناهية بين هاتين اللحظتين هي ما نطلق عليها "الزمن الحاضر" بالنسبة للملاحظ لحظة الملاحظة. وأي واقعة تحدث بين هاتين الفترتين الزمنيتين نطلق عليها "متزامنة" مع فعل الملاحظة.

إن استخدام تعبير "ممكن أن نطلق عليها" يشير إلى غموض كلمة "التزامن" هذا الغموض يرجع إلى حقيقة أن هذا المصطلح تشكل من خبرة الحياة اليومية التى تعتبر سرعة الضوء لا متناهية في الكبر. وفي حقيقة الأمر يمكن تعريف هذا المصطلح بطريقة مختلفة بعض الشيء، فقد استخدم آينشتين في أبحاثه هذا التعريف الثاني. فعندما تحدث واقعتان متزامنتان في نفس النقطة في المكان، فإننا نقول إنهما متوافقتان، وهذا المصطلح خال تماما من أي غموض. دعونا نتصور ثلاث نقاط توجد في مكان على خط مستقيم، تقع إحداهما في منتصف المسافة بين نقطتي الطرف. فإذا ما حدثت واقعتان بنقطتي الطرف بحيث يتوافق عند النقطة الوسطى وصول إشارتين ضوئيتين منبعثتين منهما، قلنا إن الواقعتين متزامنتان. هذا التعريف محدود مقارنة بالتعريف الأول. أحد أهم نتائجه هي: أنه إذا ما كانت واقعتان متزامنتان بالنسبة لملاحظ ما، ربما لا تكونان كذلك لملاحظ آخر، إذا كان هذا الملاحظ في حالة حركة بالنسبة للملاحظ الأول. ممكن أن نوضح إذن، العلاقة

بين هذين التعريفين من خلال العبارة التى تقول إنه إذا تزامن واقعتان بالمعنى الأول لهذا المصطلح، فيمكن أن نجد دائما إطارًا مرجعيًا تكونان فيه متزامنتين بالمعنى الثاني أيضا.

إن تعريف مصطلح "التزامن" يبدو أكثر قربا من استخدامه في الحياة اليومية، ذلك لأن المشكلة هي أنه إذا كانت ثمة واقعتان متزامنتان فإنهما لا يتوقفان، في الحياة اليومية، على إطار مرجعى، إلا إن كلا التعريفين النسبيين للمصطلح قد اكتسبا دقة تفتقر إلى لغة الحياة اليومية. تعلم الفيزيائيون من نظرية الكم أن مصطلحات الفيزياء الكلاسيكية تصف الطبيعة بطريقة غير دقيقة تماما، وأن تطبيقها محكوم بقوانين الكم، لذلك علينا أن نكون حذرين في استخدامها. أما في النظرية النسبية يحاول الفيزيائيون تغيير معنى كلمات الفيزياء الكلاسيكية لتقديم مصطلحات أكثر دقة بطريقة تلائم الوضع الجديد في الطبيعة.

إن بنية المكان والزمان التى كشفت عنها نظرية النسبية لها نتائج عديدة في أجزاء مختلفة من الفيزياء. فيمكن أن نشتق الديناميكا الكهربائية للأجسام المتحركة، لأول وهلة، من مبدأ النسبية. هذا المبدأ ذاته يمكن أن يصاغ بوصفه قانونا عاما للطبيعة لا يقتصر على الديناميكا الكهربائية أو الميكانيكا فحسب، بل على أية مجموعة من القوانين: القوانين التي تأخذ الصورة نفسها في كل النظم المرجعية، والتي هي مختلفة بدورها، عن بعضها بعضا، بسبب حركة انسحابية منتظمة، فهي ثابتة أمام تحويل لورنتز.

ربما كانت أهم نتيجة لمبدأ النسبية هي القصور الذاتي للطاقة، أو تكافؤ الكتلة والطاقة، ولما كانت سرعة الضوء هي سرعة قصوى لا يمكن لأى جسم مادي الوصول إليها البتة، كان من السهل أن نرى تعجيل جسم يتحرك بالفعل بسرعة كبيرة أصعب من تعجيل جسم ساكن. يزداد القصور الذاتي بتزايد الطاقة الحركية. ولكن بوجه عام، أي نوع من أنواع الطاقة سيساهم في القصور الذاتي،

وفقا لنظرية النسبية؛ أي في الكتلة، وإن كتلة أي مقدار من الطاقة ليست سوى حاصل قسمة هذه الطاقة على مربع سرعة الضوء، لذلك فإن كل طاقة تحمل كتلتها، حتى الطاقة الهائلة لا تحمل إلا قدرًا ضئيلاً جدا من الكتلة، وهذا ما يفسر السبب في عدم اكتشاف العلاقة بين الكتلة والطاقة من قبل. يفقد قانونا حفظ المادة وحفظ الشحنة صحتهما الانفصالية ويجتمعان معا في قانون واحد يمكن أن نطلق عليه قانون حفظ الطاقة والكتلة. عندما تم صياغة نظرية النسبية منذ خمسين عاما مضت. كان يبدو فرض تكافؤ الكتلة والطاقة بمثابة ثورة كاملة في الفيزياء، ولم يكن سوى القليل من الأدلة التجريبية التى تؤيده. أما اليوم نرى العديد من التجارب التى تظهر كيف يمكن تخليق جسيمات أولية من الطاقة الحركية، وكيف تفنى مثل هذه الجسيمات لتشكل إشعاعا؛ لذا، فإن التحول من الطاقة إلى المادة والعكس يفترض شيئا استثنائيا، أن الطاقة الهائلة المنبعثة عن انفجار ذري تعد برهانا هائلا على صحة معادلة آينشتين. ولكن يمكن أن نضيف هنا ملاحظة نقدية تاريخية.

لقد قيل أحيانا إن الطاقات الهائلة للانفجارات الذرية تعود إلى تحول الطاقة المباشر إلى كتلة، وإن قدرتنا على التنبؤ بهذه الطاقات يستند أساسًا على نظرية النسبية، إلا إن هذا يمثل على أية حال سوء فهم. فالكمية الهائلة من الطاقة المتاحة في النواة الذرية كانت معروفة منذ تجارب بيكريل وكوري وروزفورد عن الانحلال الإشعاعي. فأي جسم منحل مثل الراديوم ينتج عنه كمية من الحرارة تصل إلى مليون ضعف مقارنة بالحرارة المنبعثة من التفاعل الكيميائي لكمية مساوية من المادة. فمصدر الطاقة من عملية انشطار اليورانيوم وهي بالضبط عملية انحلال ألفا بعنصر الراديوم نفسه، أعنى، التنافر الكهروستاتيكي للجزيئين اللذين تنشطر إليهما النواة؛ لذا تأتي طاقة الانفجار الذري مباشرة من مصدره لا من تحول الكتلة إلى طاقة. إن هذا العدد الهائل من الجسيمات الأولية ذات الكتلة الساكنة المحدودة لا ينقص في أثناء الانفجار، إلا إنه من الصحيح أن الطاقات المرتبطة بالجسيمات

في نواة ذرة ما لا تبدو لكتلها، ومن ثم فإن تحرر الطاقة بهذه الطريقة غير المباشـرة يرتبط أيضا بالتغيرات التى تطرأ على كتل النواة. لقد أثار تكافؤ الكتلة والطاقة، إلـى جانب أهميته الكبيرة في الفيزياء مشاكل تتعلق بمشكلات فلسفية قديمة. فقد كان ثمة أطروحة تتعلق بعدة أنساق فلسفية قديمة تقول بأن الجوهر أو المادة لا يفنى. أما فـي الفيزياء الحديثة، فقد أظهرت العديد من التجارب أن الجسيمات الأوليـة مـن قبيـل البيوزيترونات والإلكترونات يمكن أن تفنى وتتحول إلى إشعاع. فهل هـذا يعنـى أن التجارب الحديثة قد دحضت الأنساق الفلسفية القديمة وأن الحجج التى قـدمتها هـذه الأنساق في وقت سابق كانت مضللة؟

إذا ما توصلنا إلى مثل هذه النتيجة فإنها ستكون متسرعة ولا مبرر لها، لأن المصطلحين "الجوهر" و"المادة" المستخدمان في الفلسفة القديمة والوسيطة لا يمكـن ببساطة أن ينطبقا على مصطلح "الكتلة" في الفيزياء الحديثة. فإذا ما رغب أحد في أن يعبر عن خبرتنا الحديثة بلغة الفلسفات القديمة، فإنه سينظر إلى الكتلة والطاقـة باعتبارهما صورتين مختلفتين من الجوهر نفسه، وبالتالى سيحتفظ بفكرة الجـوهر الذي لا يفنى. يمكن القول من جهة أخرى، إنه من الصعوبة بالنسبة للمرء أن يقول بأنه يحقق مكاسب كبيرة إذا ما عبر عن المعرفة الحديثة بلغة قديمة. لقد تم تشكيل الأنساق الفلسفية، في الجزء الكبير منها، من المعرفة المتاحة آنذاك، ومن اتجاهات الفكر التى أدت إلى هذه المعرفة. لا ينبغي أن نتوقع من فلاسفة عاشوا منـذ عـدة قرون مضت، أن يتنبؤوا بتطور الفيزياء الحديثة أو النظرية النسبية. لذا فـإن المفـاهيم التى توصل إليها الفلاسفة في عملية الوضوح العقلي، منذ زمن بعيد، لا يمكـن أن تتكيف مع الظواهر التى تم ملاحظتها من خلال أدوات تقنية معقدة ظهـرت فـي عصرنا هذا. ولكن قبل الخوض في مناقشة المضامين الفلسفية للنظريـة النـسبية علينا أن نصف أولاً تطورها اللاحق.

لقد فندت نظرية النسبية، كما ذكرنا من قبل، فرض الأثير الذي لعب دورًا مهما في المناقشات المبكرة عن نظريات ماكسويل في القرن التاسع عشر. وقد تم التعبير عن هذا بالقول بأنه قد تم التخلي عن فكرة المكان المطلق، لكن لا بد من أن نكون حذرين عند قبول مثل هذه العبارة. صحيح أننا لا نستطيع أن نشير إلى إطار مرجعي خاص لجوهر الأثير يكون ثابتًا ويستحق اسم "المكان المطلق"، ولكن من الخطأ القول إن المكان قد فقد الآن كل خصائصه الفيزيائية. فما زالت معادلات حركة الأجسام المادية أو الحقول تتخذ صورة مختلفة في نظام مرجعي عادي، عندما تنسب إلى نظام مرجعي آخر في نسق آخر يتحرك حركة غير منتظمة بالنسبة للنظام المرجعي"العادي". يثبت وجود قوى الطرد المركزية في النظم الدوارة – فيما تهتم به النظرية النسبية عام ١٩٠٥ وعام ١٩٠٦ – خصائص فيزيائية للمكان من شأنها أن تسمح بوجود تمييز بين نظام دوار وآخر غير دوار. هذا لا يبدو مرضيا من وجهة نظر فلسفية، هذه الوجهة من النظر التي تفضل إلصاق خصائص فيزيائية فقط لكيانات مادية مثل الأجسام المادية أو الحقول وليس للمكان الفارغ. أما فيما يتعلق بالنظرية الكهرومغناطيسية والحركات الميكانيكية، فيوجد خصائص فيزيائية للمكان الفارغ إلا إنها مجرد وصف لحقائق لا نزاع عليها.

إن التحليل المتأني الدقيق لهذا الوضع جاء بعد عشر سنوات، في عام ١٩١٦، حيث توسع آينشتين في النظرية النسبية توسعا مهما، هذا التوسع عادة ما يطلق عليه "نظرية النسبية العامة". وقبل الخوض في وصف الأفكار الرئيسية لهذه النظرية الجديدة قد يكون من المفيد أن نذكر بضع كلمات عن درجة اليقين التي يمكن الاعتماد عليها في صحة هذين الجزئين من نظرية النسبية. تستند نظرية عامي ١٩٠٥ و١٩٠٦ على عدد كبير من الوقائع الثابتة: على تجارب ميكلسون ومورلي والكثير غيرها مما يشبهها. على التكافؤ بين الكتلة والطاقة في العمليات الإشعاعية التي لا حصر لها، وعلى الاعتماد على علاقة متوسط عمر الأجسام المشعة وسرعتها وهلم جرا. لذا تنتمي هذه النظرية إلى أسس راسخة في الفيزياء الحديثة والتي لا يوجد نزاع عليها في وضعنا الحالي.

يعد الدليل التجريبي في نظرية النسبية العامة أقل إقناعـا، ذلـك لأن المـادة التجريبية نادرة للغاية. فهناك عدد قليل فقط من الملاحظـات الفلكيـة التـى تـسمح بالتحقق من صحة الافتراضات. لهذا كانت هذه النظرية ككل أكثر افتراضية مقارنـة بالنظرية الأولى. إن حجر الزاوية في نظرية النسبية العامة هي العلاقة بين القصور الذاتي والجاذبية. أظهرت القياسات الدقيقة أن كتلـة الجـسم، باعتبارهـا مـصدرا للجاذبية، يتناسب تمامًا مع الكتلة باعتبارها مقياسًا للقصور الـذاتي للجـسم، حتـى القياسات الأكثر دقة لا تظهر أي انحراف عن هذا القانون. فإذا كـان هـذا القـانون صحيحًا، بوجه عام، فمن الممكن أن نضع قوى الجاذبية على المستوى نفسه مع قوى الطرد المركزي أو غيرها من القوى الأخرى التى تنشأ كرد فعل للقـصور الـذاتى. ولما كان من الضروري اعتبار قوى الطرد المركزي ناشئة عن خصائص المكـان الفارغ، كما ناقشنا ذلك من قبل، فإن أينشتين قد اتجه إلى افتراض أن قوى الجاذبيـة هي أيضًا ناشئة عن خصائص المكان الفارغ. كانت هذه خطوة مهمة للغاية استدعت خطوة ثانية تالية لها على الأهمية نفسها. فنحن نعرف أن قوى الجاذبية تنـتج عـن الكتل، ولما كانت الجاذبية مرتبطة بخصائص المكان، فلا بد لهذه الخصائص من أن تكون نتاجًا للكتل أو تتأثر بها. لا بد أيضًا من أن تكون قـوى الطـرد المركـزى، في أي نظام دوار ناجمة عن دوران كتل (بالنسبة للنظام) تقع على مسافة بعيدة جدًا.

لتنفيذ هذا البرنامج الذي أوجزناه في جمل قليلة كان على آينشتين أن يربط الأفكار الفيزيائية الأساسية بالمنهج الرياضياتى للهندسة العامـة التـى طورهـا ريمان(*) **Riemann**. ولما كانت خصائص المكان تتغير على ما يبدو باسـتمرار مع مجالات الجاذبية، فمن الضروري أن يتم مقارنة هندسـة المكـان بهندسـة السطوح المنحنية حيث يتم الاستعاضة عن الخط المستقيم في الهندسـة الإقليديـة

(*) ريمان (١٨٢٦-١٨٦٦) رياضياتي ألماني نجح في وضع هندسة لا إقليدية لا توجد بها خطوط متوازية البتة، كما نجح أيضًا في تكوين دالة منفصلة في عدد لا ينتهي من الانفصالات بين نقطتين ما. (المترجم)

بالخط الجيوديسى. وهو الخط الذي يتغير انحناؤه بصورة مستمرة. تمكن أينشتين في نهاية المطاف، من التوصل إلى صياغة رياضياتية للعلاقة بين توزيع الكتل والمعامل المحدد للهندسة. تمثل هذه النظرية الوقائع الشائعة عن الجاذبية، فهى تتطابق، بدرجة عالية جدا، مع النظرية التقليدية للجاذبية، فضلاً عن تنبؤ هذه النظرية ببعض الآثار المثيرة للاهتمام والتى كانت تتعلق فقط بحد القابلية للقياس، فقد كان هناك على سبيل المثال، عمل الجاذبية على الضوء، فعندما ينبعث ضوء أحادى اللون عن نجم ذي كتلة عالية، فإن كم الضوء يفقد طاقته عندما يبتعد عن مجال الجاذبية للنجم، وينجم عن ذلك إزاحة نحو الأحمر لخط الطيف المنبعث. بيد أنه لا توجد حتى الآن أية أدلة تجريبية لهذه الإزاحة نحو الأحمر. وهذا ما أظهرته بوضوح مناقشة تجارب فروندليتش **Freundlich**، ولكن سيكون من السابق لأوانه أن نستنتج أن التجارب تتعارض مع تنبؤ نظرية آينشتين. فشعاع الضوء الذي يمر بالقرب من الشمس ينبغي أن ينحرف بسبب مجال جذبيتها. وقد رصد فروندليتش هذا الانحراف تجريبيًا وكان في النطاق الصحيح؛ إلا إن موضوع التوافق في هذا الانحراف من الناحية الكمية للقيمة التى تنبأت بها نظرية آينشتين، أمر لم يتم تقريره بعد. ويبدو أن أفضل دليل على صحة نظرية النسبية العامة هو تقدم الحركة المدارية لكوكب عطارد، والذي يبدو متوافقًا بدرجة كبيرة للغاية، مع القيمة التى تنبأت بها النظرية.

على الرغم من أن الأساس التجريبي لنظرية النسبية العامة لا يزال ضيقًا نوعًا ما، فإن النظرية تحتوى على أفكار ذات أهمية كبيرة. فمنذ الحقبة التى تمتد من اليونان القديمة وحتى القرن التاسع عشر، كان علماء الرياضيات يعتبرون الهندسة الإقليدية واضحة بذاتها، وأن بديهيات أقليدس تصلح لأي هندسة رياضياتية، فهي أساس لا يمكن الشك فيه. وقد اكتشف علماء الرياضيات في القرن التاسع عشر أمثال بولياي **Bolyai** ولباشفيسكى **Lobachevsky** وجاوس **Gauss** ورايمان

Riemann أن ثمة هندسات أخرى يمكن ابتكارها وتطويرها بالدقة الرياضياتية نفسها التى تميز هندسة إقليدس، وبالتالى، تحول السؤال، أية هندسة من تلك الهندسات يمكن أن تكون صحيحة لتصبح هندسة تجريبية؟

كان هذا من خلال عمل أينشتين الذي وجه أنظار الفيزيائيين لمناقشة هذا السؤال. أما الهندسة التى كانت موضع نقاش في نظرية النسبية العامة لم تهتم بالمكان ثلاثي الأبعاد فحسب، بل من المركب الرباعي الأبعاد الذي يتألف من المكان والزمان. وطدت هذه النظرية دعائم العلاقة بين الهندسة في هذا المركب وتوزيع الكتل في العالم. لذلك أثارت هذه النظرية، في شكل جديد تماما، الأسئلة القديمة لسلوك المكان والزمان في الأبعاد الكبرى. وقد توحى بإجابات يمكن التحقق منها عبر الملاحظات. ووفقا لذلك، أخذت المشاكل الفلسفية الموغلة في القدم والتى شغلت عقل الإنسان منذ أقدم مراحل الفلسفة والعلم، تطرح، من قبيل: هل المكان متناه أم غير متناه؟ هل ثمة بداية للزمان؟ ما الذي سيحدث في نهاية الزمان؟ أم أن الزمان ليس له بداية ولا نهاية؟ كان ثمة إجابات مختلفة قدمت من قبل فلسفات وأديان مختلفة، ففي فلسفة أرسطو، على سبيل المثال، كان المكان الكلي للكون متناه (رغم أنه لم يكن قابلا للقسمة اللانهائية). فالمكان ينشأ عن امتداد الأجسام، كما أنه يرتبط بالأجسام، بحيث إذا لم توجد أجسام لا يوجد مكان "(انتفاء وجود الأجسام يعنى انتفاء وجود المكان). أما الكون فيتألف من الأرض والشمس والنجوم: عدد متناه من الأجسام. لا يوجد مكان فيما وراء النجوم، وبالتالى فإن حيز الكون متناه.

ينتمى هذا السؤال في فلسفة كانط إلى ما أطلق عليه "الأضداد **Antinomies**" وهو نوع من الأسئلة التى لا يمكن الإجابة عنها، وذلك لوجود حجتين مختلفتين ويقودان إلى نتائج متناقضة. فالمكان لا يمكن أن يكون متناهياً، ولا نستطيع أن نتصور أن ثمة نهاية للمكان؛ فحيثما نصل إلى نقطة في أي مكان فإن هذا يجعلنا

نتصور دائمًا أن في استطاعتنا أن نذهب أبعد من تلك النقطة. في الوقت ذاته لا يمكن أن يكون المكان لا متناهيا، لأن المكان نتصوره أحيانا (وإلا لما صيغت كلمة "مكان") ولا يمكن أن نتصور مكان لا متناه. إن كانط لم يقدم فعليا حجة لهذه الأطروحة الثانية. تعني لنا الجملة التي تقول إن "المكان لا متناه" شيئًا ما سلبيًا، فليس في مقدورنا الوصول إلى نهاية المكان. أما بالنسبة لكانط، فهذه الجملة تعنى، أن المكان اللامتناهى هو معطى حقيقي، فهو يوجد بمعنى ما يصعب علينا التعبير عنه. إن النتيجة التى توصل إليها كانط هي: إن الإجابة العقلانية لسؤال ما إذا كان المكان متناه أم لا، هو أمر مستحيل، ذلك لأن الكون كله لا يمكن أن يكون موضوعًا لخبرتنا.

هناك حالة مماثلة تتعلق بمشكلة لاتناهى الزمان، ففي اعترافات القديس أوغسطين **Augustine** على سبيل المثال، اتخذ السؤال هذا الشكل: ماذا كان يفعل الله قبل أن يخلق العالم؟ لم يكن أوغسطين راض عن هذه النكتة "إن الله كان مشغولا بتجهيز جهنم لأولئك الذين طرحوا مثل هذا الأسئلة الحمقاء"، فهذه الإجابة، فيما يقول أوغسطين، مبتذلة للغاية، ومن ثم يحاول أن يعطي تحليلاً عقلانيًا للمشكلة، فالزمان يمضي بالنسبة لنا وحدنا، وهذا ما نتوقعه في المستقبل. وهو يمضي في اللحظة الراهنة، ونتذكره كماض، بيد أن الله ليس في الزمان، وأن ألف سنة بالنسبة له مثل يوم بالنسبة لنا، وأن يومًا واحدًا مثل ألف سنة، وقد خلق الله الزمان مع خلق العالم، فهو ينتمى إلى العالم، ومن ثم لم يكن هناك زمان قبل وجود الكون. فالمسار الكلى للكون جاء من الله في لحظة واحدة، لذلك، ليس ثمة زمان قبل أن يخلق الله العالم.

من الواضح أن مثل هذه العبارات التى يرد بها كلمة "خلق" إنما تثير لأول وهلة صعوبات جوهرية، فهذه الكلمة عادة ما يفهم معناها على أنها تعنى شيئًا ما جاء إلى حيز الوجود ولم يكن موجودًا من قبل، وهذا المعنى يفترض مفهوم

الزمان. لذا من الصعوبة بمكان أن نعرف، بمصطلحات عقلانية، ما المقصود من عبارة "لقد تم خلق الزمان". وهذه الحقيقة تذكرنا مرة أخرى بالدرس الذي غالبًا ما تمت مناقشته و تعلمناه من الفيزياء الحديثة: إن كل كلمة أو مفهوم، مهما بدا واضحًا، يظل لديه مجال محدود من القابلية للتطبيق.

يمكن طرح مثل هذه التساؤلات عن لا نهائية المكان والزمان في نظرية النسبية العامة من خلال الإجابة الجزئية التى تستند على أساس تجريبي. فإذا كانت النظرية أقامت علاقة بين الهندسة رباعية الأبعاد في المكان والزمان وتوزيع الكتل في الكون، فإن الملاحظات الفلكية عن توزيع المجرات في الفضاء تقدم لنا معلومات عن هندسة الكون ككل. ويمكن للمرء أن يبنى "نماذج" للكون، صورًا كونية، ويمكنه مقارنة النتائج مع الوقائع التجريبية. لا يستطيع المرء من خلال المعرفة الفلكية الحالية أن يميز بوضوح بين نماذج عديدة محتملة، قد يكون المكان الممتلئ بالكون متناه، وهذا لا يعنى أن هناك نهاية للكون في مكان ما، وهذا يعنى أننا إذا ما تقدمنا في هذا الكون أكثر وأكثر في اتجاه واحد فسنصل مرة أخرى إلى نقطة البداية التى بدأنا منها، وهو الموقف نفسه الذي يحدث في الهندسة ثنائية الأبعاد على سطح الأرض، فعندما نبدأ من نقطة في الاتجاه شرقًا، فإننا نعود في النهاية إلى النقطة نفسها من الغرب.

أما فيما يتعلق بالزمان، يبدو أن ثمة شيئًا يشبه البداية، حيث تشير العديد من الملاحظات إلى نشأة الكون منذ نحو أربعة مليارات عام مضت، أو يبدو أنها تشير على الأقل، أن مادة هذا الكون في ذلك الوقت كانت مركزة في مكان صغير للغاية مقارنة بما هي عليه الآن، وقد توسعت هذه المادة من ذلك الحين بسرعات متفاوتة، وقد أكدت الملاحظات التى تم اكتشافها منذ أربعة ملايين عام ذلك (على سبيل المثال، عمر النيازك، وعمر معادن الأرض، وهلم جرا)، لذلك ثمة صعوبة أن نعثر على تفسير يختلف جذريًا عن فكرة البدء تلك. إذا كان صحيحًا فإن هذا

يعنى أن مفهوم الزمان فيما وراء هذا الزمان سيخضع لتغيرات جوهرية. أما في الحالة الراهنة فلا يمكن البتة أن نجد إجابة، تصل إلى حد اليقين، عن تلك الأسئلة المطروحة عن هندسة الزمكان على نطاق واسع من خلال الملاحظات الفلكية. ولكن من الأهمية بمكان أن نفكر في إجابات تلك الأسئلة في نهاية المطاف على أساس تجريبي صلب. حتى نظرية النسبية العامة في الوقت الحالى تقوم على أساس تجريبي ضيق للغاية، وينبغي أن نعتبرها أقل يقينا مقارنة بما تسمى نظرية النسبية الخاصة التى عبر عنها تحويل لورنتز.

حتى لو لم نعط مزيدًا من المناقشات لهذه النظرية الأخيرة، فإنه لا شك أن نظرية النسبية قد غيرت جذريا وجهات نظرنا حول بنية المكان والزمان. أما الجانب الأكثر إثارة في هذه التغيرات ربما لا يأتى من طبيعتها الخاصة، ولكن من احتماليتها. كانت بنية المكان والزمان التى حددها نيوتن، أساسا لوصفه الرياضياتى للطبيعة، بسيطة ومتسقة ومتفقة بشكل كبير للغاية مع استخدامنا لمفهومي المكان والزمان في الحياة اليومية. هذا التوافق كان في حقيقة الأمر وثيقًا لدرجة أن تعريفات نيوتن كانت تعتبر صياغة رياضياتية دقيقة لهذين المفهومين الشائعين. بدا واضحا تمامًا قبل نظرية النسبية أنه يمكننا أن نرتب الوقائع وفقًا لتسلسل زمنى بطريقة مستقلة عن موقعها في المكان. ونحن نعلم اليوم أن هذا الانطباع قد نشأ في حياتنا اليومية من حقيقة أن سرعة الضوء أكبر بكثير من أي سرعة أخرى نصادفها في خبراتنا العملية، ولكن لم يدرك أحد هذا التقيد بطبيعة الحال في ذلك الوقت. حتى لو كنا نعرف هذا التقييد، فلا يمكن أن نتصور الآن أن التسلسل الزمنى للوقائع يتوقف على موقعها.

وجهت فلسفة كانط فيما بعد انتباهنا إلى حقيقة مفهومي المكان والزمان وعلاقتنا بالطبيعة، ليست الطبيعة ذاتها، لأننا لا نستطيع وصف الطبيعة دون استخدام هذين المفهومين، ومن ثم فإن هذين المفهومين "قبليين" بمعنى ما، وهما

شرطان وليسا نتيجة جديدة، لذا، بدت ضرورة التغيير بمثابة مفاجأة كبرى. وهذه هي المرة الأولى التى استشعر فيها العلماء الحاجة إلى الحذر عند تطبيق مفاهيم الحياة اليومية على الخبرة المصقلة للعلم التجريبي الحديث. حتى الصياغة الدقيقة والمتسقة لهذه المفاهيم في اللغة الرياضياتية لميكانيكا نيوتن والتحليلات الدقيقة لفلسفة كانط، لم تقدم حماية ضد التحليل النقدي الذي تم من قبل قياسات دقيقة للغاية. وقد اتضحت فيما بعد فائدة هذا الحذر الكبير في تطوير الفيزياء الحديثة، ولكن كان من الصعوبة بمكان فهم نظرية الكم إذا لم تحقق نظرية النسبية نجاحًا في تحذير العلماء الفيزيائيين من الاستخدام غير النقدي للمفاهيم المأخوذة من الحياة اليومية أو من الفيزياء الكلاسيكية.

٨ ـ النقد والنقد المضاد لتفسير كوبنهاجن لنظرية الكم

قاد تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم الفيزيائيين بعيدًا عن وجهات النظر المادية البسيطة التي سادت العلوم الطبيعية في القرن التاسع عشر. ولما كانت هذه الوجهات من النظر لا ترتبط بشكل جوهري بالعلوم الطبيعية في تلك الحقبة، فقد حظيت بتحليل منهجي من بعض الأنساق الفلسفية وتغلغلت في أعماق عقل رجل الشارع العادي، وهذا ما يفسر جيدا لماذا كانت تلك المحاولات التي بذلت لنقد تفسير كوبنهاجن لإحلال تفسير آخر، أكثر انسجاما مع مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية أو الفلسفة المادية.

يمكن تقسيم تلك المحاولات إلى ثلاث مجموعات مختلفة، لا ترغب المجموعة الأولي في تفسير كوبنهاجن فيما يتعلق بتنبؤات النتائج التجريبية، بيد أنها تحاول تغيير لغة هذا التفسير لتصبح أكثر شبها بالفيزياء الكلاسيكية، بعبارة أخري، تحاول أن تغير الفلسفة دون أن تغير الفيزياء. اقتصرت بعض الأبحاث في هذه المجموعة الأولي على الاتفاق مع التنبؤات التجريبية لتفسير كوبنهاجن على تلك التجارب التي اجريت حتى الآن، والتي تنتمي للفيزياء الإلكترونية العادية.

أما المجموعة الثانية فتدرك أن تفسير كوبنهاجن هو التفسير الوحيد الملائم، اذا كانت النتائج التجريبية، في كل مكان، تتفق مع تنبؤات هذا التفسير. لذا حاولت ابحاث هذه المجموعة تغيير نظرية الكم، إلى حد ما، في بعض النقاط الحرجة. أما المجموعة الثالثة والأخيرة، فقد عبرت عن استيائها العام من نتائج تفسير كوبنهاجن، وبخاصة نتائجه الفلسفية، دون أن تقدم مقترحات بديلة. تنتمي أبحاث كل من آينشتين وفون لاوه وشرودنجر إلى المجموعة الثالثة التي كانت تاريخيًا اول تلك المجموعات الثلاث.

ومع ذلك، فإن كل معارضي تفسير كوبنهاجن اتفقوا على نقطة واحدة، كانت من وجهة نظرهم الرغبة في العودة إلى مفهوم الواقع في الفيزياء الكلاسيكية، أو استخدام مصطلح أكثر فلسفيا، إلى أنطولوجيا المذهب المادي، حيث يفضلون العودة إلى فكرة العالم الحقيقي الموضوعي، حيث توجد أصغر أجزائه في حالة وجود موضوعي بالمعني ذاته الذي نجده في وجود الأحجار والأشجار، بصرف النظر عما إذا كنا نلاحظها أم لا. ومع ذلك، قد يبدو مستحيلاً، أو على الأقل غير ممكن، بسبب طبيعة الظواهر الذرية، التى تمت مناقشتها في بعض الفصول السابقة، فإن مهمتنا ليست مجرد صياغة رغبات عما ينبغي أن تكون عليه الظواهر الذرية، بل مهمتنا تكمن فقط في فهم تلك الظواهر.

عندما يحلل المرء أبحاث المجموعة الأولى، يدرك منذ البداية عدم إمكانية دحض تفسيرهم عن طريق التجربة، فهذه الأبحاث تقوم بتكرار تفسير كوبنهاجن ولكن بلغة مختلفة. قد يقول قائل من وجهة نظر الوضعية الدقيقة، إننا هنا لا نهتم بالمقترحات المضادة لتفسير كوبنهاجن، وإنما بالتكرار الدقيق بلغة مختلفة، لذلك، فليس أمام المرء سوى أن يناقش مدى ملائمة هذه اللغة. تعمل المجموعة الأولى من المقترحات المضادة مع فكرة "القياسات المخبأة ". ولما كانت القوانين النظرية الكمية تحدد، بشكل عام، نتائج تجربة ما إحصائيًا، فإن هذا يجعل المرء يميل، من وجهة نظر كلاسيكية، إلى الاعتقاد بأن ثمة بعض القياسات المخبأة التى تفلت من الملاحظة في أية تجربة عادية، ولكنها تحدد نتيجة التجربة بالطريقة السببية المعهودة. لذا تحاول بعض الأبحاث أن تشيد قياسات تدخل في إطار ميكانيكا الكم.

قدم بوم **Bohm** في هذا الخط مقترح مضاد لتفسير كوبنهاجن، والذي اتخذه فيما بعد دي بروى أساسًا له، ويمكن أن يكون تفسير بوم عونًا لنا هنا في هذه المناقشة. يعتبر بوم أن الجسيمات بنيات واقعية موضوعية، مثلها مثل الكتل النقطية في الميكانيكا النيوتونية، وأن الموجات في المكان الشكلي، وهو مكان له أكثر من

بعد، يشير إلى الإحداثيات المختلفة لكل الجسيمات التى تنتمى إلى هذا النظام. هنا نواجه الصعوبة الأولى: ماذا نعنى عندما نقول: إن موجات المكان الشكلى "واقعية"؟ هذا المكان هو مكان مجرد للغاية. وإن كلمة "واقعي" تعود إلى الكلمة اللاتينية التى تعنى "الشيء"، بيد أن الأشياء في المكان ثلاثي الأبعاد، ليس مكانًا شكليًا مجرداً. يمكننا أن نطلق على الموجات في المكان الشكلي "موضوعية" عندما نرغب في القول إن هذه الموجات لا تعتمد على أي ملاحظ؛ بل نادرًا ما نصفها بأنها "واقعية" ما لم نكن على استعداد لتغيير معنى الكلمة. يمضى بوم في تعريف الخطوط العمودية على أسطح الطور الموجى الثابت على أنها المدارات المحتملة للجسيمات. أما أي من هذه الخطوط هو مدار "واقعي" يتوقف، وفقًا لبوم، على تاريخ النظام وجهاز القياس، ولا يمكن أن نقرر دون معرفة المزيد عن النظام وجهاز القياس مقارنة بما هو معروف بالفعل. يشتمل هذا التاريخ، في حقيقة الأمر، على قياسات مخبأة، "المدار الفعلى" قبل بدأ التجربة.

أحد نتائج هذا التفسير، كما أكد على ذلك بولى، أن الإلكترونات في حالاتها الأرضية في العديد من الذرات، لا بد من أن تكون ساكنة ولا تقوم بأي حركة مدارية حول نواة الذرة، يبدو هذا مناقضًا للتجارب، لأن قياسات سرعة الإلكترونات في الحالة الأرضية (عن طريق تأثير كمبتون مثلاً) يكشف دائمًا عن توزيع سرعات للحالة الأرضية يتفق مع قواعد ميكانيكا الكم والتى تتحدد عن طريق مربع دالة الموجة في مكان كمية الحركة أو السرعة.

يمكن لبوم هنا أن يعترض بالقول إن القوانين العادية لم تعد قادرة على تقييم القياس. وإن التقييم العادي للقياس سيؤدي حقًا إلى توزيع السرعة، بيد أننا عندما نضع نظرية الكم في الاعتبار بالنسبة لجهاز القياس، بخاصة بعض الجهود الكهربائية الكمية التى قدمها بوم بوصفها فرضًا عينيًا، فإن العبارة القائلة إن الإلكترونات "واقعية" ودائمًا ثابتة في قياسات موضع الجسيم، يعتبرها بوم

صحيحة وفقا للتفسير المعهود للتجارب، في حين يرفضه في قياسات السرعة، وعلى هذا الأساس يرى بوم نفسه قادرًا على تأكيد "أننا لسنا في حاجة إلى التخلى عن الوصف الدقيق والعقلاني والموضوعي للأنظمة الفردية في مجال نظرية الكم. هذا الوصف الموضوعي، يكشف، مع ذلك، عن نفسه بوصفه "بنية فوقية أيديولوجية" ليس لها علاقة بالواقع المادي المباشر. إن القياسات المخبأة في تفسير بوم هي من هذا النوع، لأنها لا توجد البتة في وصف العمليات الواقعية إذا بقيت نظرية الكم دون تغيير.

ولتجاوز هذه الصعوبة أعرب بوم في حقيقة الأمر عن أمله في أن تلعب القياسات الخفية دورًا عاديًا في تجارب المستقبل، وفي مجال الجسيمات الأولية، وهذا من شأنه أن يظهر خطأ نظرية الكم. عندما أعرب بور عن هذه الآمال الغريبة، اعتاد القول بأنها تشبه في بنيتها هذه الجملة "تأمل أن يأتي اليوم أن يكون ٢×٢=٥ لأن هذا سيكون مفيدًا للغاية لمواردنا المالية". إن آمال بوم تعمل حقًا على تقويض دعائم نظرية الكم، ليس هذا فحسب، بل دعائم تفسير بوم ذاته. بطبيعة الحال يجب أن نؤكد، في الوقت ذاته، أن التشبيه الذي ذكرناه توًا، على الرغم من اكتماله، لا يمثل حجة منطقية دامغة تحول دون أي تغيير محتمل لنظرية الكم مستقبلا بالطريقة التى اقترحها بوم. لا يوجد ما يمنع المرء أن يتصور، مثلا، تطور مستقبلي للمنطق الرياضياتي أن يعطى معنى محدد في حالات استثنائية للعبارة التى تقول إن ٢×٢=٥، بل قد يكون من المحتمل أن هذه الرياضيات المتطورة يكون لها فائدتها في العمليات الحسابية في مجال الاقتصاد، رغم ذلك فنحن مقتنعون فعلاً، حتى دون أن يكون هناك أسباب منطقية مقنعة، بأن مثل هذه التغيرات في الرياضيات لن يفيدنا في النواحى المالية. لذا من الصعوبة بمكان أن نفهم كيف يمكن أن نستخدم المقترحات الرياضياتية التى تقوم على آمال بوم في وصف الظواهر الفيزيائية.

إذا تغاضينا عن هذه التعديلات المحتملة لنظرية الكم، فإن لغة بوم، كما سبق وأشرنا إليها. لا تقول شيئا البتة عن الفيزياء يختلف عن ما يقوله تفسير كوبنهاجن. يبقى السؤال حول مدى ملائمة هذه اللغة، فضلا عن الاعتراض الذي سبق الحديث عنه فيما يتعلق بمدارات الجسيمات عند مناقشة "البناء الفوقي الأيديولوجي" عديم الفائدة، يجب أن أذكر هنا على وجه الخصوص أن لغة بوم تقوض التماثل بين الموضع والسرعة المفهومة ضمنيا في نظرية الكم، يقبل بوم قياسات الموضع بالتفسير المعتاد، في حين يرفضه عند قياس السرعة وكمية الحركة. ولما كانت خصائص التماثل تشكل دائما السمات الجوهرية لأية نظرية، فمن الصعوبة بمكان أن نرى أي مكسب من جراء التخلى عن اللغة المناظرة، لهذا لا يمكن أن نعتبر الاقتراح المضاد الذي قدمه بوم لتفسير كوبنهاجن بمثابة إضافة قدمت تحسين ما.

يمكن طرح اعتراض مماثل في صورة مختلفة، نوعا ما، ضد التفسيرات الإحصائية التى قدمها بوب (لكن باتجاه مختلف إلى حد ما) وفينيس. يعتبر بوب **Popp** أن خلق وفناء جسيم ما هما عملية أساسية لنظرية الكم، فالجسيم "واقعي" بالمعنى الكلاسيكي للكلمة، أما بالمعنى الوارد في الأنطولوجيا المادية، فقد تم اعتبار قوانين نظرية الكم كحالة خاصة بالإحصاءات الملازمة لوقائع الخلق والفناء. إن هذا التفسير، الذي يشتمل على العديد من الملاحظات المتعلقة بالقوانين الرياضياتية لنظرية الكم، يمكن أن يؤدي بهذه الطريقة إلى نتائج فيزيائية، تكون النتائج نفسها التى تنتج عن تفسير كوبنهاجن، وهو إلى هذا الحد، بالمعنى الوضعي، تفسير مساوٍ في الشكل لتفسير بوم. إلا إنه يقوض في لغته التماثل بين الجسيمات والموجات، تلك السمة التى تميز النهج الرياضياتي لنظرية الكم. أوضح جوردن وكلاين وفيجنر منذ عام ١٩٢٨ أنه يمكن تفسير النهج الرياضياتي ليس فقط باستخدام لغة الكم لحركة الجسيم، بل باستخدام هذه اللغة للموجات ثلاثية الأبعاد، وبالتالي ليس ثمة سبب يدعونا إلى اعتبار الموجات أقل واقعية من

الجسيمات. يمكن أن نضمن هذا التماثل بين الموجات والجسيمات في تفسير بوم إذا طورنا الإحصاءات الملازمة للتناظر لموجات المادة في المكان والزمـان أيـضًا، ولكن يظل السؤال مطروحًا ما إذا كانت الجسيمات أو الموجات واقعية فعلاً.

يقودنا افتراض أن الجسيمات واقعية بالمعنى الأنطولوجي المادي دائمًا إلـى إغراء المرء بأن ينظر إلى الانحرافات عن مبدأ اللايقين بوصفها انحرافات ممكنة "بشكل أساسي"، يذهب فينيس إلى القول إن "وجود مبدأ اللايقين (والـذي يربطـه بعلاقات إحصائية محدودة) لا يعني أن القياس المتزامن للموضع والـسرعة بدقـة صارمة، أمرًا مستحيلاً، إلا إن فينيس لا يذكر ما الذي ينبغي الاضطلاع به فيمـا يتعلق بالقياسات العلمية، ومن ثم بقيت اعتباراته مجرد رياضيات بحتة.

أما فايتسيل **Weizel**، حيث تعد تفسيراته المضادة لتفسير كوبنهاجن أقرب إلى كل من بوم وفينيس، يربط بين "القياسات المخبأة"، وجسيم من نـوع جديـد اقترحـه كفرض عيني أطلق عليه الـ "زيرون" وهو جسيم لا يمكن ملاحظته. بيد أن الخطـر في مثل هذا المفهوم يكمن في ذلك التفاعل بين الجسيمات الحقيقية والزيـرون الـذي يبدد الطاقة بين العديد من درجات حرية مجال "الزيرون"، بحيث تصبح كل الديناميكا الحرارية فوضى (كاوس). لم يقدم فايتسيل تفسيرًا لكيفية تجنب هذا الخطر.

ربما أفضل وسيلة للوصول إلى تعريف لوجهة نظر مجموعة كاملـة مـن الأبحاث المنشورة التي ذكرتها حتى الآن، أن نستدعي تلـك المناقـشات المماثلـة المتعلقة بنظرية النسبية الخاصة. فكل هؤلاء المستائين من إنكار آينشتين لفـرض الأثير، وللمكان والزمان المطلقين، يمكنهم أن يجادلوا على هـذا النحـو: لا تقـدم نظرية النسبية الخاصة أي إثبات على الإطلاق بعدم وجود مكان وزمان مطلقـين، إن كل ما قامت هذه النظرية بتوضيحه أن المكان والزمان الحقيقيـين لا يحـدثان مباشرة في أي تجربة عادية، ولكن إذا أخذنا بعين الاعتبار مظهرًا مـن مظـاهر قوانين الطبيعة وأدخلنا، بشكل صحيح، الأزمنة "الظاهرة" فـي الـنظم المتحركـة

النظيرة، فلا تبقى أية حجة ضد افتراض مكان مطلق. وقد يصبح عندئذ من المعقول افتراض أن جاذبية مجرتنا تكون (تقريبا على الأقل) في حالة سكون في المكان المطلق. وقد يتسنى لمنتقدي نظرية النسبية الخاصة أن يضيفوا أننا ما زلنا نأمل في أن القياسات المستقبلية ستسمح بتعريف، لا لبس فيه، للمكان المطلق (أعني القياسات المخبأة لنظرية النسبية) وبالتالي يمكن تفنيد نظرية النسبية.

بالنظر، لأول وهلة، لهذه الحجة سندرك أنها ليست قادرة على تفنيد التجربة، لأنها لا تقدم بعد تأكيدات تختلف عن تلك التأكيدات التى تقدمها نظرية النسبية الخاصة. إلا إن مثل هذا التفسير يقوض، باللغة المستخدمة، الخاصية التماثلية للنظرية، أعنى لا متغير لورنتز، لذا كان ينبغي أن نقر بأنه غير ملائم.

يبدو وجه التشابه مع نظرية الكم واضحًا، فقوانين نظرية الكم هي قياسات مخبأة من هذا القبيل، وقد وضعت بوصفها فرضا عينيا، ولا يمكن البتة ملاحظتها. وبالتالى يتم تقويض الخصائص التماثلية الحاسمة إذا ما قدمنا القياسات الخفية ككيان وهمي في تفسير النظرية.

كانت أعمال بلوشنزيف **Blochinzev** وألكسندروف **Alexandrov** مختلفة تماما في عرضها للمشكلة التى تم مناقشتها من قبل، فقد حدد هذين الباحثين، منذ البداية، اعتراضاتهم على تفسير كوبنهاجن للجانب الفلسفي للمشكلة. تم قبول هذا التفسير للفيزياء دون أي تحفظ.

فإذا ما حاولنا انتقاد "الأثر الموضوعي" لألكسندروف، بالقول إن اللوحة في الواقع اصطبغت باللون الأسود، عند نقطة معينة بعد التفاعل، فإن العدد الممكن هو أننا لم نعد نطبق هنا معالجة الكم الميكانيكية للنظام المغلق المكون من الإلكترون وأجهزة القياس واللوحة، ذلك لأن خاصية "الواقعية " لواقعة ما، والتي توصف بمصطلحات مفاهيم الحياة اليومية والتى تخلو من ملاحظات، لا تتضمنها الصورية

الرياضياتية لنظرية الكم، والتى تظهر في تفسير كوبنهاجن عــن طريــق مقدمــة الملاحظ. يجب بطبيعة الحال، أن لا يساء فهم مقدمة الملاحظ على أنها تعنى جلب مزيد من بعض الملامح الذاتية في وصف الطبيعــة. تنحــصر مهمــة الملاحــظ، بالأحرى، في تسجيل النتائج، أعنى العمليات في المكان والزمان، ولا يهم إذا كــان الملاحظ هنا جهازا أو إنسانا، فالتسجيل هنا يعنى الانتقال من الممكن إلى "الفعلــي" وهي عملية ضرورية تماما لا يمكن إقصاؤها من تفسير نظرية الكم. ومن ثم نجــد أن نظرية الكم ترتبط ارتباطا وثيقا بالديناميكا الحراريــة، بمعنــى أن كــل فعــل للملاحظة هو بطبيعته عملية لا يمكن إلغاؤها؛ فمن خلال هذه العمليــات التــى لا يمكن إلغاؤها وحدها، يمكن ربط صورية نظرية الكم، بشكل متسق، مــع الوقــائع الفعلية في المكان والزمان. هذه القابلية لعدم الإلغاء – إذا ما تم طرحها في التمثيل الرياضياتي للظواهر – تعد نتيجة لمعرفة الملاحظ غير الكاملة للنظام، وبالتالي فهي ليست "موضوعية" تماما.

أما صياغة بلوشنزيف للمادة فهي مختلفة إلى حد ما عن ألكسندروف. "فنحن في ميكانيكا الكم لا نصف حالة الجسيم ذاته، وأنما حقيقة أن الجسيم ينتمى إلى هذا الصنف الإحصائي أو ذاك". هذا الانتماء موضوعي تماما ولا يتوقف علــى أيــة عبارات أدلى بها الملاحظ، إلا إن هذا الانتماء إلى صنف إحــصائي فــي تفــسير الديناميكا الحرارية الكلاسيكية، إذا ما حدد الملاحظ درجة حرارة نظام ما وأراد أن يستنبط من نتائجه شيئا عن حركات الجزيئات في النظام، فقد يقول إن النظام مجرد عينة واحدة من أصل مجموعة من القوانين، وبالتالى يمكن اعتبار أن النظام يمكن أن يكون له طاقات مختلفة، لكن النظام "في الواقع" – وفقا للفيزياء الكلاسيكية – له طاقة واحدة معروفة في وقت محدد، ومع ذلك، فإن المظهر الخارجي للجدل كــان أكثر حدة. فقد كتب بلوشنزيف في مقدمة كتابه "إن من بــين الاتجاهــات المثاليــة المختلفة في الفيزياء المعاصرة نجد مدرسة كوبنهاجن الأكثر رجعيــة، ولقــد تــم

تخصيص هذه المقالة الحالية لإماطة اللثام عن التأملات المثالية الملحدة لهذه المدرسة بشأن المشاكل الأساسية في فيزياء الكم". تظهر فظاظة هذا الجدل أننا لا نتعامل مع العلم وحده بل مع الإيمان العقائدي، والالتزام بعقيدة معينة، وقد تم التعبير عن هذا الهدف، في نهاية المطاف، باقتباس من كتابات لينين. "مهما كانت روعة تحويل الأثير الذي لا وزن له إلى ماده قابلة للوزن، من وجهة نظر العقل البشري الجمعي، مهما كانت تلك الإلكترونات تفتقر إلى كتلة إلا الكتلة الكهرومغناطيسية، مهما كان غريبًا أن تقتصر قوانين الحركة الميكانيكية على مجال الظواهر الطبيعية وحدها وخضوعها لقوانين أعمق للظواهر الكهرومغناطيسية، وهكذا – كل هذا ليس سوى إثبات إضافي لتأكيد "المادية الجدلية". إن هذه العبارة الأخيرة تجعل مناقشة بلوشنزيف فيما يتعلق بعلاقة نظرية الكم بفلسفة الجدلية المادية، أقل إثارة للاهتمام، لأنها تحط من مرتبتها إلى مرتبة محاكمة معروف فيها الحكم مسبقا. من الأهمية بمكان أن نوضح توضيحا كاملا حجج كل من بلوشنزيف و ألكسندروف.

كانت المهمة هى إنقاذ الأنطولوجيا المادية، فقد وجه الهجوم رأسا على مقدمة الملاحظ في تفسير نظرية الكم، وقد كتب ألكسندروف "ينبغى علينا أن نفهم نتيجة القياس" في نظرية الكم على أنها أثر موضوعى للتفاعل بين الإلكترون وموضوع مناسب. ويجب أن نتجنب الإشارة إلى الملاحظ، ويجب علينا التعامل مع الشروط والآثار الموضوعية. إن الكم الفيزيائي يعد خاصية موضوعية للظاهرة، ولكن ليس باعتباره نتيجة للملاحظة. فدالة الموجة في مكان صوري. وفقا لألكسندروف، تميز الحالة الموضوعية للإلكترون.

أغفل ألكسندروف، في عرضه، حقيقة أن صورية نظرية الكم لا تسمح بالدرجة الموضوعية نفسها الموجودة في الفيزياء الكلاسيكية. فعلى سبيل المثال، إذا عالجنا ككل، تفاعل نظام ما مع جهاز قياس وفقا لميكانيكا الكم، وإذا ما اعتبرنا

أن كليهما منفصلان عن بقيه العالم، عندئذ لن تؤدي صورية نظرية الكم إلى نتيجة بعينها، فهي لا تؤدي، على سبيل المثال، إلى اصطباغ اللوحة الفوتوغرافية بـــاللون الأسود في نقطة معينة. ولن تحقق فيه أية طاقات أخرى. ويخطـــئ الملاحـــظ إذا اعتبر إمكانية أن توجد طاقة مختلفة في تلك اللحظة. فالمجموعة القانونية تـــشتمل على عبارات ليس فحسب عن النظام ذاته، بل عن معرفة الملاحظ غيـــر الكاملـــة للنظام. فإذا ما حاول بلوشنزيف في نظرية الكم أن يصف، انتماء نظام مـــا إلـــى مجموعة ما بأنه "موضوعي تماما"؛ فإنه يستخدم كلمة "موضوعي" بمعنى مغـــاير عن ما تعنيه الكلمة في الفيزياء الكلاسيكية. حيث يعنـــى الانتمـــاء فـــي الفيزيـــاء الكلاسيكية، كما قيل، إنما هو عبارات ليس فحسب عن النظام، بل هى عن درجـــة معرفة الملاحظ لهذا النظام. بل يجب أن نؤكد أن ثمة استثناء لهـــذا التاكيـــد فـــي نظرية الكم. إذا كانت هذه المجموعة في نظرية الكم تتميز بدالة موجية واحدة فـــي مكان صوري (وليس كما جرت العادة – بمصفوفة إحصائية)، فإننا سنواجه حالـــة خاصة (تسمى الحالة الخالصة) حيث يمكن أن نطلق على الوصف بأنه موضوعي، بمعنى ما، ولا يظهر فيه أي عنصر من عناصر المعرفة غير المكتملة، ولما كـــان كل قياس (بسبب عدم قابليته للمعكوسية **Irreversible**) يعيد تقديم عنصر المعرفـــة غير المكتملة، فإن الوضع لن يكون مختلفا بشكل جذري.

فوق كل هذا ندرك مدى صعوبة هذه الصياغات عندما نحاول دفع الأفكـــار الجديدة في نظام قديم للمفاهيم ينتمى إلى فلسفة قديمة. أو، كما يقول المثل القـــديم، أن نضع خمرًا جديدًا في قارورات قديمة. إن مثل هذه المحاولات دائمًا ما تكـــون مضنية، لأنها تضللنا باستمرار في الانشغال بشروخ الزجاجات القديمة بـــدلاً مـــن الابتهاج أكثر بالخمر الجديد. لا يمكن أن نتوقع من أولئك المفكرين الـــذين قـــدموا المادية الجدلية **Dialectic Materialism**(*) منذ قرن مضى أن يتنبـــؤوا بتطـــور نظرية الكم، لأن مفاهيمهم عن المادة والواقع لم تتكيف مع نتائج التقنية التجريبيـــة الدقيقة في عصرنا الراهن.

(*) المادية الجدلية مظهر من مظاهر الفلسفة الماركسية، تذهب إلى أن مظاهر الوجود بأسره هو نتاج المادة، حتى الفكر الإنساني مادي في الأساس، ومن ثم تقف المادية الجدلية في مقابل المثالية التي تنظر إلى الوجود والفكر بوصفهما نتاج العقل البشري وليس المادة. (المترجم)

من الممكن أن نضيف هنا بعض الملاحظات العامة عن موقف العـــالم إزاء عقيدة ما، قد تكون دينية أو سياسية. إن الفارق الجـــوهري بـــين العقيـــدة الدينيـــة والسياسية، هو أن الأخيرة تتعلق بالواقع المادي المباشر للعالم من حولنا، في حين إن موضوع الأولى هو واقع آخر فيما وراء العالم المادي. هذا الواقع ليس ذا أهمية بالنسبة لهذه القضية بالذات، ولكن ما يستحق المناقشة هو مشكلة العقيدة ذاتها. بعد كل ما قيل بهذا الصدد فالمطلوب من العالم ألا يركن إلى عقائد بعينهـــا، وألا يقيـــد منهجه في التفكير بفلسفة بعينها، وأن يكون مستعدًا دائمًا أن يتقبل أي تغير لأســـس معرفته جراء خبرة جديدة. إلا إن هذا المطلب تبسيطًا مخلاً لوضعنا فـــي الحيـــاة وذلك لسببين: الأول، أن بنية تفكيرنا تحددها في شبابنا الأفكار التى اكتسبناها فـــي ذلك الوقت، أو عبر احتكاكنا بشخصيات قوية تعلمنا منها. تشكل هذه البنية جـــزءًا لا يتجزأ من كل أعمالنا اللاحقة، وقد يكون من الصعب بالنسبة لنا أن نتكيف تمامًا مع الأفكار المختلفة في وقت لاحق. أما السبب الثاني، فهو أننا ننتمى إلى جماعـــة أو مجتمع. هذا المجتمع تجمعه أفكار مشتركة، من خلال سلم مشترك مـــن القـــيم الأخلاقية، أو عبر لغة مشتركة تعبر عن المشاكل العامة للحياة، قد تدعم السلطة أو الكنيسة أو الحزب أو الدولة مثل هذه الأفكار العامة، وحتى لو لم يكن الأمر كـــذلك فمن الصعب أن نذهب بعيدا عن الأفكار العامة دون الـــدخول فـــي صـــراع مـــع المجتمع، ومع ذلك فإن نتائج التفكير العلمى قد تتعارض مع بعض الأفكار العامة، ليس من الحكمة بالتأكيد أن نطالب العالم بوجه عام ألا يكـــون عـــضوًا مخلـــصًا لمجتمعه، وأن نحرمه من السعادة التى قد يجنيها من انتمائه لمجتمع مـــا، وبالمثـــل ليس من الحكمة أن نطالب بتغيير الأفكار العامة في المجتمع والتى تبدو من وجهة النظر العلمية تبسيطا مخلاً، وينبغي تغييرها على الفور لتفسح المجال لتقدم المعرفة العلمية، وأن تكون بالضرورة متغيرة مثل النظريات العلمية، لذا نعود في عـــصرنا الحاضر إلى المشكلة القديمة "الحقيقة المزدوجة" التى ملأت تاريخ الديانة المسيحية خلال العصور الوسطى المتأخرة. فهناك المذهب القائل:" إن الدين الوضعى – وأيًا

كان الشكل الذي يتخذه – هو ضرورة لا غنى عنه لعامة الشعب، بينما رجل العلم يسعى إلى الحقيقة الواقعية خلف الدين، ولا يبحث عنها إلا هناك"، ويقولون إن "العلم مقصور على فئة معينة، إنه للنخبة فقط ". فإذا كانت المذاهب السياسية والأنشطة الاجتماعية تأخذ في وقتنا الحاضر دور الدين الوضعي في بعض البلدان، فإن المشكلة تظل كما هي. إن أول ما يتحلى به العالم هو الأمانة الفكرية، بينما يطالب المجتمع العالم – في ضوء تباين العلوم – أن ينتظر على الأقل بضعة عقود قبل أن يعرب للعامة عن آرائه المعارضة. ربما لا يوجد حلا بسيطا لهذه المشكلة، إذا كان التسامح وحده لا يكفي، ولكن قد نجد بعض العزاء في حقيقة أنها بالتأكيد مشكلة قديمة تنتمي إلى حياة البشر.

نعود الآن إلى الاقتراحات المضادة لتفسير كوبنهاجن لنظرية الكم لنناقش المجموعة الثانية من الاقتراحات، والتي تحاول تغيير نظرية الكم للوصول إلى تفسير فلسفي مختلف. من أكثر المحاولات الدقيقة للغاية في هذا الاتجاه هي محاولة جانوسي **Janossy**، حيث أدرك أن صحة ميكانيكا الكم الصارمة تجبرنا على التخلي عن مفهوم الواقع في الفيزياء الكلاسيكية، لذلك فقد سعى إلى تغيير ميكانيكا الكم بطريقة تقترب في بنيتها من الفيزياء الكلاسيكية، على الرغم من أن كثيرًا من النتائج يظل صحيحًا، كانت نقطة الهجوم هي ما تسمى بـ "رد دفعات الموجات" أي حقيقة أن دالة الموجة، أو بوجه عام، دالة الاحتمال، تتغير بشكل منفصل عندما يدرك الملاحظ نتيجة القياس. لاحظ جانوسي أن هذا الرد لا يمكن استنباطه من المحاولات التفاضلية للصورية الرياضياتية، وأعتقد أنه في استطاعته أن يستنتج وجود تضارب في التفسير المعتاد. من المعروف جيدًا أن "رد دفعات الموجات" يظهر دائما في تفسير كوبنهاجن عند اكتمال عملية الانتقال من الممكن إلى الفعلي. فجأة تتحول دالة الاحتمال، التي تغطي مجالاً واسعًا من الاحتمالات، إلى مجال أضيق بكثير، ذلك لأن حقيقة أن التجربة قد أدت إلى

نتيجة محددة، وأن واقعة ما قد حدثت بالفعل، يتطلب الرد في هذه الصورية تحطيم ما يسمى بتداخل الاحتمالات، والذي يعد أهم ظاهرة تميز نظرية الكم، عن طريق تفاعلات النظام غير المعروفة جزئيًا وبصورة غير قابلة للالغاء مع جهاز القياس وبقية العالم. حاول جانوسي في ذلك الوقت أن يغير ميكانيكا الكم بإدخال ما يسمى بحدود التضاول إلى المعادلات، حيث إنها تختفي معها تلقائيًا حدود التداخل بعد فترة زمنية محددة، حتى لو كان هذا يتفق مع الواقع، وليس هناك سبب يدعو لإجراء مثل هذه التجارب – سيبقى لهذا التفسير عددا من النتائج المفزعة، كما أشار جانوسي نفسه (على سبيل المثال، الموجات التي تنتشر بسرعة تفوق سرعة الضوء، بتبادل التسلسل الزمني للسبب والنتيجة وهلم جرا)؛ لذلك يصعب أن نكون على استعداد للتضحية ببساطة بنظرية الكم من أجل مثل هذه الوجهة من النظر، إلا إذا أجبرتنا التجارب على ذلك.

من بين ما تبقى من المعارضين هو ما يسمى أحيانا "التفسير الأرثوذكسي" لنظرية الكم، فقد اتخذ شرودنجر موقفا استثنائيا إلى حد ما، فقد نسب الواقع الموضوعي للموجات وليس للجسيمات، فضلاً عن عدم استعداده لتفسير الموجات على أنها "موجات احتمال فقط". في بحثه المعنون "هل ثمة قفزات كمية؟" يحاول شرودنجر أن ينكر وجود قفزات للكم على الإطلاق (ربما يتشكك البعض في مدى ملائمة مصطلح قفزة الكم" في هذا الصدد، ويمكن الاستعاضة عنه بمصطلح أقل إثارة هو "الانفصال".

يشتمل بحث شرودنجر في المقام الأول على سوء فهم للتفسير المعتاد، فهو يغفل حقيقة أن الموجات في المكان الصوري (أو مصفوفات التحويل) هي فقط، موجات احتمال بالتفسير المعتاد، في حين أن موجات الإشعاع أو موجات المادة، ثلاثية الأبعاد ليست كذلك، وهذه الأخيرة لها من الواقعية بالقدر نفسه للجسيمات تمامًا، وليس لديها أي ارتباط مباشر بموجات الاحتمال، ولكن لها كثافة مستمرة

من الطاقة وكمية الحركة، مثل المجال الكهرومغناطيسي في نظرية ماكسويل، لذلك أكد شرودنجر، بصدد هذه النقطة، أنه من الممكن أن نتصور أن العمليات أكثر استمرارية مقارنة مما هي عليه في المعتاد. إلا إن هذا التفسير من شأنه ألا يستبعد عنصر الانفصال الذي تم العثور عليه في كل مكان في الفيزياء الذرية: وتشهد أية شاشة وميضًا أو عداد جيجر **Geiger counter**(*) الذي يثبت وجود هذا العنصر لأول وهلة. وهو موجود في التفسير المعتاد لنظرية الكم في التحول من الممكن إلى الفعلي. لم يقدم شرودنجر ذاته أي اقتراح مضاد عن الكيفية التي ينوى من خلالها تقديم عنصر الانفصال، القابل للملاحظة في كل مكان، بطريقة تختلف عن التفسير المعتاد.

وأخيرًا، فإن النقد الذي ظهر في العديد من أبحاث آينشتين ولاوه وغيرهم، ركز على سؤال ما إذا كان تفسير كوبنهاجن يسمح بوصف فريد وموضوعي للوقائع الفيزيائية، ويمكن أن نعرض حججهم الأساسية على النحو التالى: يبدو النهج الرياضياتى لنظرية الكم وصفًا كافيًا تمامًا لإحصائيات الظواهر الذرية. حتى لو كانت عباراته المتعلقة باحتمالية الأحداث الذرية صحيحة تمامًا، فإن هذا التفسير لا يصف ما يحدث بالفعل وصفًا مستقلاً عن الملاحظات أو من بين الملاحظات. بل ثمة شيء يجب أن يحدث، لا يمكننا الشك فيه "وهو أن هذا الشيء ليس في حاجة إلى وصف باستخدام مصطلحات الإلكترونات أو موجات أو كم الضوء، وأن مهمة الفيزياء لا تكتمل إلا أن نصفه بشكل أو بآخر. ولا يمكن أن نقر أنه يشير إلى فعل الملاحظة فقط".

(*) جهاز قام بتصميمه العالم الألماني هانز جيجر (١٨٨٢ – ١٩٤٥) حيث يستخدم في قياس الإشعاعات الذرية، ويتكون من أنبوبة زجاجية محكمة الغلق، مملوءة بغاز أو بخار تحت ضغط منخفض، وعلى محور الأنبوبة الزجاجية يوجد سلك معدني رفيع يمر داخل أسطوانة معدنية، وعند دخول أي جسيم مشع داخل الغاز يتم تأين هذا الغاز ويمكن قياسه بحيث تظهر كمية الإشعاع على العداد. (المترجم)

ويجب على الفيزيائي أن يسلم في العلم أنه يدرس هذا العالم الذي لم يـصنعه هو، وأن هذا العالم موجود دون أي تغيير جوهري، حتى إذا لم يكن موجودا في هذا العالم، وعلى هذا لا يقدم تفيسر كوبنهاجن أي فهم حقيقي للظواهر الذرية.

من السهولة بمكان أن نرى أن هذا النقد يتطلب مرة أخـرى الأنطولوجيا المادية القديمة، ولكن ماذا سيكون الجواب من وجهة نظر تفسير كوبنهاجن؟

يمكن القول إن الفيزياء جزء من العلم، ومن ثم فهى تهدف إلى وصف وفهم الطبيعة، وإن استنباط أي نوع من الفهم – سواء كان عمليًا أولا، يتوقف على لغتنا، وعلى تبادل الأفكار. فأى وصف للظواهر، وللتجارب ونتائجها، يرتكز على اللغـة وسيلة من وسائل الاتصال، وتمثل كلمات هذه اللغة مفاهيم الحياة اليومية والتى تـم تهذيبها في اللغة العلمية للفيزياء في صورة مفـاهيم للفيزيـاء الكلاسـيكية، هـذه المفاهيم هي أدوات وحيدة لاتصال يخلو من أي غموض فيمـا يتعلـق بالوقـائع، وإجراء التجارب ونتائجها، لذلك، إذا ما سُئل الفيزيائي أن يقدم وصفا لمـا يحـدث واقعيا في تجاربه، فإن كلمات "وصف" و"واقعي" و"يحدث" لا تشير إلا إلى مفـاهيم الحياة اليومية أو إلى الفيزياء الكلاسيكية، فإذا ما تخلى الفيزيائي عن هذا فإنه يفقـد وسائل الاتصال الواضحة، فلا يستطيع المضي قدمًا في علمه. لذا فإن أية عبـارة عن ما "حدث فعلياً" هي عبارة قد صيغت في حدود المفـاهيم الكلاسـيكية، وهـي بطبيعتها ناقصة بالنسبة لتفاصيل الوقائع الذريـة – بـسبب الـديناميكا الحراريـة وعلاقات اللايقين. إن مطلبنا "أن نصف ما يحدث" في عملية الكم النظريـة بـين ملاحظتين متعاقبتين هو تناقض في السمة، لأن كلمة الوصف تشير إلى اسـتخدام مفاهيم كلاسيكية، في حين أن هذه المفاهيم لا يمكن تطبيقهـا علـى المكـان بـين الملاحظات، فهى لا تطبق إلا عند مواقع الملاحظة.

يجب أن نلاحظ هذه النقطة وهي أن تفسير كوبنهاجن لنظريـة الكـم لـيس وضعيًا، حيث تستند الوضعية على الإدراكات الحسية للملاحظ باعتبارها عناصـر

واقعية، فضلاً عن أن تفسير كوبنهاجن يضع في الاعتبار الأشياء والعمليات التـــي يمكن وصفها بلغة المفاهيم الكلاسيكية، أعنى، الواقعية، باعتبارها أساسا لأي تفسير فيزيائي، في الوقت ذاته نلاحظ أننا لا يمكن أن نتجنب الطبيعة الإحصائية لقـــوانين الفيزياء الميكروسكوبية، لأن أى معرفة عن الواقعي هي بطبيعتها معرفة ناقصة – بسبب قوانين الكم – النظرية.

ارتكزت الأنطولوجيا المادية على وهم وهو أن نوع الوجود، أي "الواقعيـــة" المباشرة للعالم من حولنا يمكن استنتاجه من المجال الذري، ومع ذلك يظـــل هـــذا الاستنتاج مستحيلاً.

يمكن إضافة بعض الملاحظات بشأن البنية الصورية لكل المقترحات المضادة التى ناقشناها حتى الآن ضد تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم. وقد وجـــدت كـــل هـــذه الاقتراحات نفسها مضطرة إلى التضحية بالخصائص التماثلية الجوهرية لنظرية الكم (على سبيل المثال، التماثل بين الموجات والجسيمات أو بين الموضع والسرعة) لـــذا نفترض أيضا أننا لا نستطيع أن نتجنب تفسير كوبنهاجن إذا كانت هـــذه الخـــصائص التماثلية – مثلها مثل ثابت لورنتز في نظرية النسبية – تعتبر ملمحا حقيقيا للطبيعـــة، وكل التجارب التى أجريت حتى الآن تؤيد هذه الوجهة من النظر.

٩- نظرية الكم وبنية المادة

طرأ على مفهوم المادة في تاريخ الفكر البشري تغيرات كبيرة، كما قدمت الأنساق الفلسفية المختلفة تفسيرات متباينة لهذا المفهوم. كل هذه المعاني المختلفة لهذه الكلمة أعني "المادة" ما زالت قائمة، بدرجات متفاوتة في عصرنا الحاضر.

في سعي الفلسفة اليونانية القديمة، بدءا من طاليس وانتهاء بفلاسفة الذرة، نحو مبدأ يوحد كل الأشياء في متغير كلي، شكّل مفهوم المادة الكوني جوهر العالم، الذي نختبر به كل هذه التحولات، من هذا الجوهر تصدر كل الأشياء الفردية وتتحول إليها ثانية. وقد تم تحديد هذه المادة جزئيا، وجزئيا فقط، بمادة محددة مثل الماء والهواء أو النار، لأنها ليس لديها أي خاصية أخري كونها هي المادة التي يصنع منها الأشياء.

كان التفكير في المادة، بعد ذلك، وبخاصة في فلسفة أرسطو، من خلال العلاقة بين الصورة والمادة. فكل ما ندركه حسيا في هذا العالم من ظواهر حولنا هو مادة اتخذت صورة ما. فالمادة ذاتها ليست واقعا بل هي ممكنة فقط "بالقوة" فوجودها يتحدد من خلال الصورة. أما " الجوهر" في العملية الطبيعية، كما يطلق عليها أرسطو، يتحول من مجرد وجود ممكن بالقوة عبر الصورة إلى وجود بالفعل. إن المادة عند أرسطو ليست بالتأكيد مادة محددة مثل الماء أو الهواء، وليست مجرد مكان فارغ بسيط، بل هي نوع من القوام المادي غير المحدد، الذي يجسد إمكانية التحول إلى الوجود بالفعل عن طريق الصورة. والأمثلة النموذجية لهذه العلاقة بين المادة والصورة في فلسفة أرسطو تكمن في العمليات البيولوجية حيث تتشكل المادة لتصبح كائنا حيا، وتبني وتشكل نشاط الإنسان. إنها بمثابة تمثال من الرخام قبل أن ينحته النحات.

بدءا من فلسفة ديكارت، بعد ذلك، تم التفكير في المادة على أنها مقابل العقل. فقد كان ثمة وجهان متممان للعالم "المادة" و"العقل"، أو كما وضعها ديكارت "الشيء الممتد" و"الشيء المفكر"، ولما كانت المبادئ المنهجية الجديدة للعلوم الطبيعية، ولا سيما الميكانيكا، قد استبعدت رد أي من الظواهر المادية إلى قوة روحية، فلا يمكن النظر في المادة باعتبارها حقيقة مستقلة عن العقل أو عن أي قوة خارقة للطبيعة. كانت "المادة" في هذه الحقبة مادة قد تم تشكيلها، فضلاً عن تفسير عملية التشكل تلك على أنها سلسلة من التفاعلات الآلية. وبالتالي فقدت كل علاقة يمكن أن تقوم بينها وبين النفس النامية في الفلسفة الأرسطية، وبالتالى أصبحت ثنائية المادة والصورة، حيث لم تعد تربط بينهما أية علاقة. هذا هو مفهوم المادة الذي يمثل الأساس في استخدامنا الحالي لكلمة " المادة".

وأخيرا لعبت ثنائية أخري دورًا ما في العلوم الطبيعية للقرن التاسع عشر، ثنائية بين المادة والقوة، فالمادة هي ما تعمل عليه القوة، أو المادة يمكن أن تنتج قوى، فالمادة تنتج مثلاً قوة الجاذبية، وهذه القوة تعمل على المادة. فالمادة والقوة وجهان للعالم ولكنهما متمايزان بعضهما عن بعض. أما بالنسبة لاحتمال أن تكون القوة مجرد قوى صورية، فإن هذا التمييز يقترب من التمييز الأرسطي بين المادة والصورة. من جهة أخري، لم يعد لهذا التمييز بين المادة والقوة وجود في التطورات المعاصرة للفيزياء الحديثة، لأن كل مجال من مجالات القوة يحتوي على طاقة، وهي التي تشكل المادة حتى الآن، فلكل مجال من مجالات القوى يوجد نوع معين من الجسيمات الأولية التي لها خصائص كل الوحدات الذرية الأخري للمادة نفسها.

عندما تبحث العلوم الطبيعية في مشكلة المادة، فإنها تقوم بذلك فقط من خلال دراسة صورة المادة. إن التنوع اللانهائي والتغير الذي لحق صورة المادة يجب أن يكون موضوعًا مباشرا للبحث، ولا بد أن توجه الجهود نحو إيجاد بعض

القوانين الطبيعية، وتوحيد بعض المبادئ التي يمكن أن تكون بمثابة دليل أو مرشد في هذا المجال الهائل. لذا ركزت العلوم الطبيعية، لا سيما الفيزياء، جل اهتمامها فترة طويلة على تحليل بنية المادة والقوة المسؤولة عن هذه البنية.

كانت التجربة تمثل المنهج الأساسي للعلوم الطبيعية منذ عصر جاليليو. هذا المنهج مكننا من الانتقال من الخبرة العامة إلى الخبرة النوعية، ومكننا أيضا من أن نختار من بين الوقائع المميزة في الطبيعة التي يمكن دراسة قوانينها بشكل مباشر مقارنة بالخبرة العامة. فإذا ما أردنا دراسة بنية المادة فعلينا أن نجري تجارب على المادة ذاتها، علينا أن نعرض المادة لشروط قاسية من أجل دراسة تحولاتها، على أمل أن نعثر على السمات الجوهرية للمادة التي تظل قائمة تحت كل التغيرات الظاهرة.

كان هذا هو موضوع الكيمياء في العهود الأولى للعلوم الطبيعية الحديثة، وقد أدى هذا المسعى في وقت مبكر نسبيا إلى مفهوم العنصر الكيميائي، فقد كان يسمي الجوهر الذي لا يمكن أن يحل أو يتحطم بأي من الوسائل المتاحة للكيميائي - الغليان والحرق والذوبان، والمزج بجواهر أخري، وما إلى ذلك، تسمي عنصرًا، وكان تقديم هذا المفهوم خطوة أولى نحو فهم بنية المادة. لقد تم رد التنوع الهائل للجواهر، على الأقل، إلى عدد أقل نسبيًا من جواهر أكثر أولية، أو عناصر، وبالتالي أمكن إقامة نوع من النظام بين الظواهر المتباينة للكيمياء، وبناء على ذلك، أستخدمت كلمة "ذرة" للدلالة على أصغر وحدة من المادة تنتمي إلى العنصر الكيميائي، أما أصغر جسيم من المركب الكيميائي فيمكن تصوره على أنه مجموعة صغيرة من ذرات مختلفة، فأصغر جسيم لعنصر الحديد، مثلا، هو ذرة الحديد، وأصغر جسيم للماء هو جزيء الماء، ويتكون من ذرة أكسجين وذرتين هيدروجين.

أما الخطوة التالية التي تكاد تقترب في أهميتها من الخطوة الأولى، فهي اكتشاف حفظ الكتلة في العملية الكيميائية. فعندما يتم حرق عنصر الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون، فإن كتلة هذا الأخير تساوي حاصل جمع كتلتي الكربون والأكسجين قبل عملية الاحتراق، وكان هذا هو الاكتشاف الذي أضفى معنى على مفهوم المادة: يمكن قياس المادة عن طريق كتلتها بعيدًا عن الخصائص الكيميائية.

خلال الفترة التالية، لا سيما في القرن التاسع عشر، تم اكتشاف عدد قليل من العناصر الكيميائية الجديدة، وقد بلغ عدد العناصر الآن في عصرنا الحاضر مائة عنصر. وقد أظهر هذا التطور بوضوح تام أن مفهوم العنصر الكيميائي لم يصل بعد إلى النقطة التي يمكن من خلالها أن نفهم وحدة المادة. لم يكن هذا مرضيا للاعتقاد بوجود أنواع كثيرة جدا من المادة، تختلف بطريقة نوعية، دون أية رابطة تربط بينها.

أما في بداية القرن التاسع عشر، فقد ظهرت بعض الأدلة على وجود علاقة تربط بين العناصر المختلفة، وقد تم العثور على هذه العلاقة في حقيقة أن الأوزان الذرية للعناصر المختلفة كثيرا ما تبدو، في أغلب الأحيان، مضاعفات صحيحة لوحدة صغرى تقترب من الوزن الذري للهيدروجين. كان ثمة ملمح آخر يشير إلى تشابه في السلوك الكيميائي لبعض العناصر تؤدي إلى الاتجاه نفسه. لكن الأمر يتطلب فقط اكتشاف للقوى أكبر بكثير من تلك المطبقة في العمليات الكيميائية، قبل أن نثبت العلاقة بين العناصر المختلفة ومن ثم تؤدي إلى توحيد للمادة بحيث أصبحت أكثر انغلاقًا.

تم العثور بالفعل على هذه القوى في العملية الإشعاعية التي اكتشفها بيكريل **Becquerel** عام ١٨٩٦، وقام كل من كوري وروزفورد وغيرهم، بأبحاث متعاقبة أوحت بتحول العناصر في العملية الإشعاعية. تنبعث جسيمات ألفا في هذه العمليات كشظايا من الذرات لها طاقة تبلغ نحو مليون ضعف طاقة جسيم ذري واحد مفرد في

عملية كيميائية. لذا، يمكن استخدام هذه الجسيمات أدوات جديدة لبحث البنية الداخلية للذرة. وكانت النتيجة النموذج النووي للذرة الذى قدمه روزفورد عام ١٩١١ نتيجة تجاربه على استطارة أشعة ألفا. كانت أهم سمة من سمات هذا النموذج الشهير فصل الذرة إلى قسمين مختلفين اختلافًا واضحًا، نواة الذرة وقشرة الإلكترونات المحيطة، ولا تحتل النواة في منتصف الذرة سوي جزء صغير للغاية من المساحة التي تشغلها الذرة (فقطرها أصغر مائة ألف مرة من قطر الذرة) ولكنها تشتمل على كتلة الذرة تقريبًا، وتحدد شحنتها الكهربائية الموجبة وهي تساوي أضعافا صحيحة لما يسمي بالشحنة الأولية، وهي التي تحدد عدد الإلكترونات المحيطة. فالذرة ككل يجب أن تكون محايدة كهربائيا، كما تحدد شكل مداراتها.

أدى هذا التمييز بين نواة الذرة وقشرتها الإلكترونية على الفور إلى تفسير صحيح لحقيقة أن العناصر الكيميائية في الكيمياء، هي الوحدات الأخيرة للمادة، وأن تحول العناصر لبعضها بعضا يحتاج إلى قوى شديدة للغاية. أما الرابطة الكيميائية التي تربط بين ذرتين متجاورتين وتفاعل القشرات الإلكترونية، وطاقة هذا التفاعل، فهي صغيرة نسبيًا. فالإلكترون الذي يتم تعجيله في أنبوب تفريغ بجهد لا يزيد على بضع فولتات، له من الطاقة ما يكفي لإثارة القشرة الإلكترونية لأن ينبعث عنها شعاع، أو للقضاء على الرابطة الكيميائية في جزيء. لكن السلوك الكيميائي للذرة، رغم كونه يتألف من سلوك القشرات الإلكترونية، فإنه يتحدد بشحنة النواة. فإذا ما رغبنا في تغيير النواة، علينا أن نغير الخصائص الكيميائية، وهذا يتطلب طاقات أكبر من مليون ضعف تقريبًا.

على أن النوذج النووي للذرة، على أية حال، ليس قادرًا على تفسير ثبات الذرة، إذا ما اعتقدنا في نظام يخضع لميكانيكا نيوتن، كما أشرنا في الفصل السابق، فتطبيق نظرية الكم على هذا النموذج من خلال عمل بور، هو وحده ما يفسر حقيقة أن ذرة الكربون، مثلا، بعد تفاعلها مع ذرات أخرى، أو بعد أن

ينبعث منها شعاعا، تبقى في نهاية المطاف ذرة كربون لها القشرات الإلكترونية نفسها التي كانت لها من قبل. يمكن تفسير هذا الثبات، ببساطة، عبر تلك الخصائص في نظرية الكم، والتي تحول دون أن نصف بنية الذرة وصفًا موضوعيا بسيطا في المكان والزمان.

بهذه الطريقة أصبح لدينا في النهاية أساسًا واحدًا لفهم المادة. فمن الممكن أن نفسر الخصائص الكيميائية للذرات وغيرها من الخصائص، عبر تطبيق النهج الرياضياتي لنظرية الكم على القشرة الإلكترونية، يمكن على هذا الأساس أن نحاول توسيع مجال تحليل بنية المادة في اتجاهين متضادين، فمن الممكن دراسة التفاعل بين الذرات وعلاقاتها بالوحدات الأكبر مثل الجزيئات أو البلورات أو الكائنات البيولوجية، وإما أن نحاول، من خلال البحث في نواة الذرة ومكوناتها، النفاذ إلى الوحدة النهائية للمادة. وقد سار البحث في كلا الاتجاهين خلال العقود الأخيرة. وسنحاول في الصفحات التالية أن نوجه مزيدا من الاهتمام بدور نظرية الكم في هذين المجالين.

إن القوي بين ذرتين متجاورتين هي، في المقام الأول، قوي كهربائية، حيث تتجاذب الشحنات المتضادة وتتنافر الشحنات المتماثلة. فالإكترونات تتجذب نحو النواة وتتنافر عن بعضها بعضًا. لكن هذه القوى لا تعمل وفقًا لقوانين الميكانيكا النيوتونية، بل وفقًا لقوانين ميكانيكا الكم.

وهذا يقودنا إلى نوعين مختلفين من الروابط بين الذرات. في النوع الأول يمر الإلكترون من ذرة إلى أخرى، مثلاً، يملأ فراغ في قشرة إلكترون مغلقة تقريبا، وفي هذه الحالة تصبح الذرتان مشحونتين وتشكلان ما يطلق عليه الفيزيائيون الأيونات. فلما كانت شحنتاهما متضادتين فإنهما يتجاذبان.

أما النوع الثاني فإن الإلكترون ينتمي إلى كلتا الذرتين، وهذا ما يميز نظرية الكم. فإذا ما استخدمنا صورة مدار الإلكترون، يمكننا القول إن الإلكترون يدور حول النواتين مستغرقًا الوقت نفسه في كلا الذرتين. وهذا النوع الثاني من الارتباط يتطابق مع ما أطلق عليه الكيمائيون رابطة التكافؤ.

هذان النوعان من القوي، قد يحدثان في أي خليط، ويتسببان في تشكيل تجمعات مختلفة من الذرات، ويبدو أنهما مسؤولان في نهاية المطاف عن البنى المعقدة للمادة التي يتم دراستها في الفيزياء والكيمياء. وتتشكل المركبات الكيميائية عبر مجموعات صغيرة مغلقة من الذرات المختلفة، كل مجموعة منها تمثل جزيئا واحدًا من جزيئات المركب. أما تكوين البلورات فيرجع إلى ترتيب الذرات في نظام شبكي. وتتشكل المعادن عندما تعبأ الذرات بإحكام، بحيث يمكن لإلكتروناتها الخارجية أن تترك قشرتها وتجول خلال البلورة بأكملها، كما أن المغناطيسية ترجع إلى حركة دوران الإلكترون، وهلم جرا.

في كل هذه الحالات ما زالت الثنائية بين المادة والقوة باقية، لأننا من الممكن أن نعتبر النواة والإلكترونات شظايا من مادة حفظتها القوى الكهرومغناطيسية معا. بهذه الطريقة وصلت الفيزياء والكيمياء معا إلى وحدة تكاد تكون كاملة بالنسبة لعلاقتهما ببنية المادة. في حين تتعامل البيولوجيا مع بني من نوع أكثر تعقيدًا وتختلف بعض الشيء. صحيح أنه على الرغم من كمال الكائن الحي فمن المؤكد أننا لا يمكن أن نضع حدًا فاصلاً بين المادة الحية وغير الحية. وقد قدم لنا تطور البيولوجيا عددًا كبيرًا من الأمثلة التي تمكنا من رؤية وظائف بيولوجية معينة تميز جزيئات خاصة كبيرة للغاية، أو مجموعات أو سلاسل من هذه الجزيئات، وأن ثمة اتجاهًا متزايدًا في مجال البيولوجيا الحديثة لتفسير العمليات البيولوجية باعتبارها نتائج لقوانين الفيزياء والكيمياء. لكن هذا النوع من الثبات الذي تظهره الكائنات الحية هو من طبيعة مختلفة نوعًا ما عن ثبات الذرات

أو البلورات. فهو ثبات العملية أو الوظيفة أكثر من ثبات الصورة. لا شك أن قوانين نظرية الكم تلعب دورًا مهما للغاية في الظواهر البيولوجية، فمثلاً، تلك القوي الكمومية النظرية الخاصة التي توصف، بشكل غير دقيق، عبر مفهوم التكافؤ الكيميائي، ضرورية لفهم الجزيئات العضوية وانماطها الهندسية المختلفة، وقد بينت، إلى حد ما، التجارب التي أجريت على الطفرات البيولوجية الناتجة عن الإشعاع مدي أهمية القوانين الكمومية النظرية الإحصائية، ووجود آليات مبالغ فيها. إن التشابه الوثيق بين عمل جهازنا العصبي وأداء الحاسبات الإلكترونية الحديثة يؤكد مرة أخرى أهمية العمليات الأولية الفردية في الكائنات الحية. لكن كل هذا لا يثبت بعد أن الفيزياء والكيمياء، جنبا إلى جنب مع مفهوم التطور، ستقدم يوما ما وصفا كاملاً للكائنات الحية. وعلى هذا يجب على العالم الذي يجري تجارب على العمليات البيولوجية، أن يكون حذرًا مقارنة بنظرائه في الفيزياء والكيمياء. وكما أشار إلى ذلك بور فإنه يبدو صحيحا أننا لا نستطيع أن نقدم وصفا للكائنات الحية يكون من وجهة نظر الفيزيائي كاملا، لأن هذا يتطلب تجارب تتداخل، بقوة، مع الوظائف البيولوجية. وصف بور هذا الوضع بقوله إننا نهتم في البيولوجيا بمظاهر الاحتمالات في الطبيعة التي نحن جزء منها أكثر من اهتمامنا بنتائج التجارب التي من الممكن أن نؤديها بأنفسنا، ووضع التتام الذي تلمح له هذه الصيغة يتمثل باعتبارها اتجاها في مناهج البحث البيولوجي الحديث، الذي يستغل كل نتائج الفيزياء والكيمياء، وعلى الجانب الآخر، يستند على مفاهيم تشير إلى سمات الطبيعة العضوية التي ليست واردة في الفيزياء أو الكيمياء باعتبارها مفهوم الحياة ذاتها.

تابعنا حتى الآن تحليل بنية المادة في اتجاه واحد: من الذرة إلى بنى أكثر تعقيدا مؤلفة من عدة ذرات، من الفيزياء الذرية إلى فيزياء الأجسام الصلبة، من الكيمياء إلى البيولوجيا. علينا الآن أن ننتقل إلى الاتجاه المعاكس فنتابع خط البحث من الأجزاء الخارجية للذرة إلى الأجزاء الداخلية من النواة إلى الجسيمات الأولية.

وهذا الخط الذي ربما يقودنا إلى فهم وحدة المادة، ولا يلزم هنا أن نخشى من تجاربنا أن تقوض بنياتنا المميزة. وعندما يتعين علينا مهمة اختبار الوحدة النهائية للمادة، ربما نعرض المادة إلى أشد قوى ممكنة، إلى أقسى الظروف، من أجل معرفة ما إذا كان من الممكن أن تتحول أي مادة في نهاية المطاف إلى أي مادة أخري.

كانت الخطوة الأولي في هذا الاتجاه هي التحليل التجريبي لنواة الذرة. ففي المرحلة الأولى لهذه الدراسات، والتي استغرقت العقود الثلاثة الأولى تقريبا من القرن العشرين، كانت الأدوات الوحيدة المتاحة لإجراء تجارب على النواة هي جسيمات ألفا المنبعثة من الأجسام المشعة. وقد نجح روزفورد في عام ١٩١٩ في تحويل نواة العناصر الخفيفة، فقد تمكن مثلاً، من تحويل نواة النيتروجين إلى نواة أكسجين وذلك بإضافة جسيم ألفا إلى نواة النيتروجين، مما أدى إلى إخراج بروتون واحد في الوقت نفسه، وكان هذا أول مثال لعمليات على نطاق النواة تذكرنا بالعمليات الكيميائية، ولكنه أدى إلى التحول الاصطناعي للعناصر. وكان التقدم الجوهري، كما هو معروف، يتمثل في التعجيل الاصطناعي للبروتونات بأجهزة ذات معدلات عالية من الجهد إلى طاقات تكفي لإتمام التحول النووي. وهذا يتطلب جهد يبلغ نحو مليون فولت، وقد نجح كل من كوكروفت **Cockcroft** ووالتون **Walton** في أولى تجاربهما الحاسمة في تحويل نوى عنصر الليثيوم إلى نوى هليوم، وقد فتح هذا الاكتشاف مجالاً جديدًا تمامًا من البحث والذي يمكن أن نطلق عليه الفيزياء النووية بالمعنى الصحيح، والذي سرعان ما أدى إلى فهم نوعي لبنية نواة الذرة.

إن بنية النواة، في حقيقة الأمر، بنية بسيطة للغاية. فنواة الذرة تتألف من نوعين فقط من الجسيمات الأولية، أحدهما البروتون الذي هو، في الوقت ذاته، نواة ذرة هيدروجين، أما الآخر فيسمي النيوترون، وهو جسيم له كتلة قريبة من كتلة البروتون ولكنه ليس لديه شحنة كهربائية. وتتميز كل نواة بعدد البروتونات

والنيوترونات التي تتألف منها. فنواة الكربون العادية مثلا تتكون من ٦ بروتون و٦ نيوترون، وهناك نوى كربون أخرى أقل تكرارًا في العدد (تسمي نظير الكربون)، والتي تتألف من ٦ بروتون و٧ نيوترون وهلم جرا، لقد وصلنا أخيرًا إلى وصف للمادة يتضمن ثلاث وحدات أساسية بدلاً من العناصر الكيميائية المختلفة، وهي: البروتون والنيترون والإلكترون. تتكون المادة من ذرات، وبالتالي قامت المادة على هذه اللبنات الثلاث الأساسية، لكن لم يكن هذا يمثل وحدة المادة، بيد أنه بالتأكيد يمثل خطوة كبيرة نحو التوحيد والتبسيط، ولعل خطوة التبسيط تلك أكثر أهمية. كان الطريق الذي يتعين السير فيه ما زال طويلاً حيث معرفة لبنيتين من لبنات بناة النواة يمكننا من فهم كامل لبنيتها. لكن المشكلة هنا كانت مختلفة بعض الشيء عن مشكلة التطابق في القشور الخارجية للذرة التي تم حلها في منتصف العشرينيات. فقد كان معلوم لدنيا أن في القشور الإلكترونية قوي على درجة عالية من الدقة بين الجسيمات، وكان يتعين علينا العثور على قوانين الديناميكا، وقد تم العثور عليها في ميكانيكا الكم، بيد أن القوى بين الجسيمات لم تكن معروفة مسبقا، فكان من الضروري أن تشتق من الخصائص التجريبية للنواة. إلا إن هذه المشكلة لم تحل حتى الآن بشكل كامل. يبدو أن هذه القوي ليست لها الصورة البسيطة التي للقوى الكهروستاتيكية في القشرات الإلكترونية، وبالتالي ثمة صعوبة رياضية لحساب الخصائص من القوى المعقدة، وعدم دقة التجارب، أدي هذا إلى أن أصبح التقدم أمرًا عسيرًا، لكن من المؤكد أننا توصلنا إلى فهم نوعي لبنية النواة.

تبقى إذن المشكلة الأخيرة، هي وحدة المادة، فهل تعد اللبنات الأساسية للبناء – البروتون والنيوترون والإلكترون – وحدات للمادة غير قابلة للتلف، أي الذرات بالمعنى الذي استخدمه ديمقريطس، دون أية علاقة سوي علاقة القوى التي تعمل بينها، إم إنها مجرد صور مختلفة لنوع المادة نفسه؟ وهل يمكن أن تتحول بعضها إلى

البعض مرة أخري أو ربما أيضا لصور أخري من المادة ؟ إن المعالجة التجريبية لهذه المشكلة تتطلب قوى وطاقات تركز على الجسيمات الذرية أكبر بكثير من تلك التي تلزم للبحث في النواة الذرية. ولما كانت الطاقات المخزونة في النوي الذرية ليست بالضخامة ما يكفي لتوفر لنا أداة لمثل هذه التجارب، فبات بالنسبة للفيزيائيين إما أن يعتمدوا على قوى ذات أبعاد كونية أو على براعة ومهارة المهندسين.

حدث تقدم فعلى في كلا المجالين. ففي الحالة الأولى استخدم الفيزيائيون ما يسمى بالإشعاع الكوني. فالمجالات الكهرومغناطيسية على سطح النجوم الممتدة فوق مساحات هائلة، قادرة تحت ظروف معينة على تعجيل إلكترونات ونوي ذرية مشحونة، إلا إن النوي، بسبب قصورها الذاتي الهائل، لديها فرصة أفضل للبقاء في مجال التعجيل لمسافة أطول، فإذا ما تركت في نهاية المطاف سطح النجم إلى الفضاء الفارغ، تكون قد انتقلت بالفعل خلال جهد يبلغ عدة آلاف من ملايين الفولتات. وقد يكون هناك المزيد من التعجيل في المجالات المغناطيسية بين النجوم، وعلى أية حال يبدو أن النوي تظل في فضاء المجرة لفترة طويلة بفضل تنوع المجالات المغناطيسية، لتملأ في نهاية المطاف، هذا الفراغ بما يسمى الإشعاع الكوني. هذا الإشعاع يصل إلى الأرض من الخارج ويتألف عمليًا من نوي كل الأنواع، الهيدروجين والهليوم والعديد من العناصر الأثقل، هذه النوي لها طاقات تبلغ ما يقرب من مئة مليون إلكترون فولت أو ألف مليون، وقد تصل في حالات نادرة إلى أكبر من ذلك بمليون مرة. وعندما تخترق جسيمات هذا الإشعاع الكوني الغلاف الجوي للأرض فإنها تصطدم بذرات النيتروجين أو ذرات الأكسجين في الغلاف الجوي أو تصطدم بالذرات في أي أجهزة تجريبية تتعرض للإشعاع.

أما المجال الآخر من البحث فهو تشييد ماكينات ضخمة للتعجيل، كان نموذجها الأول هو ما يسمى بالسيكلوترون الذي شيده لورانس في كاليفورنيا أوائل

الثلاثينيات. كانت الفكرة الكامنة وراء هذه الماكينات هى الحفاظ على الجسيمات المشحونة عبر مجال مغناطيسي ضخم، في حالة دوران في حلقة مفرغة أكبر قدر ممكن من المرات، لكنها تدفعها مرارا وتكرارا مجالات كهربائية في طريقها. هناك ماكينات تصل طاقاتها إلى وضع مئات من الملايين من الإلكترون فولت قيد الاستخدام في بريطانيا العظمى، وقد تم تشييد ماكينة ضخمة في جنيف والتي نأمل أن تصل طاقاتها إلى ٢٥٠٠٠ مليون إلكترون فولت وذلك من خلال التعاون مع اثنتي عشرة دولة أوروبية. وقد كشفت التجارب التي استخدمت الإشعاع الكوني أو المعجلات الضخمة سمات جديدة ومهمة للمادة. بالإضافة إلى اللبنات الثلاث الأساسية للمادة – البروتون والنيوترون والإلكترون– إذا تم اكتشاف جسيمات أولية جديدة يمكن أن تنشأ عن تلك العمليات ذات طاقات عالية، وتختفي مرة أخري بعد فترة وجيزة. هذه الجسيمات الجديدة لها خصائص تشبه خصائص الجسيمات القديمة باستثناء عدم ثباتها. حتى الجسيمات الأكثر ثباتا لا يزيد عمرها على جزء من مليون جزء من الثانية، في حين يبلغ أعمار الجسيمات الأخري واحد على ألف أصغر، وقد عرف في وقتنا الحاضر نحو خمسة وعشرين جسيمًا أوليًا جديدًا مختلفًا، كان آخرها هو البروتون السالب.

تبدو هذه النتائج، للوهلة الأولى، بعيدة تمامًا عن فكرة وحدة المادة، حيث إن عدد الوحدات الأساسية للمادة قد ازدادت من جديد إلى قيم مماثلة لعدد من العناصر الكيميائية المختلفة. ولكن هذا لا يمكن أن يكون تفسيرًا صحيحا، حيث أظهرت التجارب، في الوقت ذاته، أنه لا يمكن أن تنشأ الجسيمات من جسيمات أخرى أو ببساطة من الطاقة الحركية لمثل هذه الجسيمات، وبالتالي يمكن أن تنحل مرة ثانية إلى جسيمات أخرى، وقد أظهرت النتائج بالفعل الطبيعة التحولية الكاملة للمادة. فكل الجسيمات الأولية تستطيع، إذا ما توفر لها طاقات عالية بالقدر الكافي، أن تتحول إلى جسيمات أخرى، أو يمكن لها أن تنشأ من الطاقة الحركية، ويمكن

أن تفنى متحولة إلى طاقة أو إلى شعاع مثلاً. لذا نحن هنا فعليا لدينا برهان نهـائي على وحدة المادة. فكل الجسيمات الأولية مصنوعة من الجوهر نفسه، لذا يمكن أن نطلق على هذا الجوهر الطاقة أو المادة الكونية، إنها مجرد صـورتين مختلفتـين يمكن للمادة أن تظهر بهما.

وإذا ما قمنا بمقارنة هذا الوضع مع المفاهيم الأرسطية للمـادة والـصورة، يمكننا القول إن مادة أرسطو، هي مجرد مادة بالقوة، وينبغي أن نقارنها بمفهومنـا للطاقة، تلك التي تصبح واقعا عبر الصورة عندما تنشأ الجسيمات الأولية.

بطبيعة الحال لم ترض الفيزياء الحديثة عن هذا الوصـف النـوعي للبنيـة الأساسية للمادة، وكان يتعين عليها أن تحاول الوصول إلـى صـيغة رياضـياتية للقوانين الطبيعية تحدد "صورة" المادة، والجسيمات الأولية وقواهـا علـى أسـاس تجريبي. لم يعد ثمة تمييز واضح بين المادة والقوة في هذا الجزء من الفيزياء لأن الجسيم الأولي لا يقتصر على إنتاج بعض القوى ولا تؤثر فيه بعض القـوى، فـي حين أنه يمثل في الوقت ذاته مجالا معينا من القـوة. فالثنائيـة النظريـة الكميـة للموجات والجسيمات قد جعلت الوجود ذاته يظهر باعتباره مادة وقوة.

إن كل محاولات العثور على وصف رياضياتي للقوانين المتعلقة بالجسيمات الأولية حتى الآن، تبدأ من نظرية الكم للمجالات الموجية. فقد بدأ البحث النظـري في مثل هذه النظريات في أوئل الثلاثينيات، إلا إن البحوث الأولى في هذا المجـال كشفت عن صعوبات خطيرة تكمن جذورها في الجمع بين نظرية الكـم ونظريـة النسبية الخاصة. قد يبدو للوهلة الأولى أن النظريتين، نظرية الكم ونظرية النسبية، تشيران إلى جوانب مختلفة للطبيعة بحيث لا نجد عمليا أية علاقة بينهما، وأنه مـن السهولة بمكان أن نفي بمتطلبات النظريتين في صورية واحدة، على أننا إذا أمعنـا الفحص سيظهر أن النظريتين تتداخلان في نقطة واحدة، وأن الصعوبات جميعهـا تنشأ عن هذه النقطة.

كشفت نظرية النسبية الخاصة عن بنية المكان والزمان والتي تختلف بعض الشيء عن البنية التي افترضتها بشكل عام الميكانيكا النيوتونية. أما السمة المميزة لهذه البنية المكتشفة الجديدة هي وجود سرعة قصوى لا يمكن لأي جسم متحرك أو إشارة متحركة أن تتجاوزها، هذه السرعة هي سرعة الضوء. ونتيجة لهذا، إذا وقع حدثان في نقطتين متباعدتين ولا تجعمعهما أية رابطة سببية مباشرة، فإذا ما وقعا في وقت واحد وانطلقت إشارة ضوئية فور وقوع أحدهما عند نقطة ما، فإن هذه الأشارة لا تصل إلى النقطة الأخرى إلا بعد وقوع الواقعة الأخري، والعكس أيضًا صحيح. في هذه الحالة يمكن أن نقول إن الواقعتين متزامنتان. ولما كان من غير الممكن لأي فعل أيا كان نوعه، أن يصل من واقعة عند نقطة ما في زمان ما إلى الواقعة الأخرى عند النقطة الأخرى فإن الواقعتين لا ترتبطان بأي فعل سببي.

لهذا السبب، فإن أي فعل من هذا النوع على مبعدة، مثل قوى الجاذبية في الميكانيكا النيوتونية، لا يتوافق مع نظرية النسبية الخاصة. فكان على النظرية أن تحل محل هذا الفعل من نقطة إلى أخرى، من نقطة معينة فقط إلى نقاط في الجوار المتناهي الصغر. كانت التعبيرات الرياضياتية الأكثر طبيعية لمثل هذا الفعل هي المعادلات التفاضلية للموجات أو الحقول الثابتة لتحويل لورنتز، فمثل هذه المعادلات التفاضلية المختلفة تستبعد أي فعل مباشر بين الوقائع "المتزامنة". لذا تم التعبير عن بنية المكان والزمان في نظرية النسبية الخاصة بحيث يقتضي ضمنًا حدًا صارمًا للغاية بين منطقة التزامن، والتي لا يمكن أن ينتقل فيها أي فعل، والمناطق الأخري حيث يمكن أن ينتقل فعل مباشر من واقعة إلى واقعة أخرى.

من جانب آخر، نجد أن علاقات اللايقين في نظرية الكم قد وضعت حدًا واضحا للدقة التي يمكن أن نقيس بها، بشكل متزامن، المواضع وكمية الحركة، أو الزمان والطاقة، ولما كانت الحدود الفاصلة تعني الدقة اللانهائية فيما يتعلق بالموضع في المكان والزمان، فلا بد من أن تبقى كمية الحركة أو الطاقات غير

محددة تماما. أو في حقيقة الأمر لا بد لكمية الحركة والطاقات العالية من أن تحدث باحتمالية غامرة، لذا فإن أية نظرية تحاول الوفاء بمتطلبات كل من النسبية الخاصة ونظرية الكم ستؤدي إلى تناقضات رياضياتية، واختلافات في منطقة الطاقات وكمية الحركة العالية للغاية، قد لا يبدو هذا التسلسل من الاستنتاجات ملزما تماما، لأن أي صورية من هذا القبيل الذي يهمنا معقدة للغاية وربما وفرت بعض الاحتمالات الرياضياتية لتجنب الصدام بين نظرية الكم والنسبية. لكن حتى الآن كل الأنظمة الرياضياتية التي تم تجريبها في الواقع تؤدي إما إلى اختلافات، أعني تناقضات رياضياتية، أو لا تستوفي شروط النظريتين، وقد كان من السهل أن نرى أن الصعوبات تأتي بالفعل من النقطة التي ناقشناها.

كانت الطريقة التي تم بها مقاربة النهوج الرياضياتية للوفاء بمتطلبات نظريتي النسبية والكم مثيرة للاهتمام حقًا، فأحد تلك النظم، مثلاً، عندما نحاول تفسيره بمصطلحات الوقائع الفعلية في المكان والزمان، فإنه يقود إلى نوع من ارتداد الزمان. والتنبؤ بعمليات تنشأ فيها فجأة جسيمات في نقطة ما في المكان، وتتم توفير الطاقة لها فيما بعد عبر عملية تصادم أخرى بين الجسيمات الأولية في نقطة ما أخرى. كان الفيزيائيون على قناعة من تجاربهم أن عمليات من هذه القبيل لا تحدث في الطبيعة، أو على الأقل لا تحدث إلا إذا تم الفصل بين العمليتين بمسافات قابلة للقياس في المكان والزمان. ثمة نهج رياضياتي آخر حاول أن يتجنب الاختلافات من خلال عملية رياضياتية تسمي إعادة التطبيع، إذ بدا من الممكن الدفع باللامتناهيات إلى المكان في الصورية، بحيث لا نتمكن من التدخل في إقامة علاقات واضحة المعالم بين تلك الكميات التي يمكن ملاحظتها مباشرة. وقد أدى هذا النظام، في حقيقة الأمر، إلى إحراز تقدم كبير للغاية في الديناميكا الكهربائية الكمية، لأن هذا النظام يبدي بعض التفاصيل المثيرة للاهتمام فيما يتعلق بطيف الهيدروجين الذى لم يكن مفهوما من قبل. إن

التحليل الدقيق لهذا النهج الرياضياتي، جعل، مع ذلك، إمكانية أن تكون تلك الكميات التي يتم تفسيرها في نظرية الكم العادية مجرد احتمالات، أن تصبح تحت ظروف معينة سلبية في صورية إعادة التطبيع. وهذا من شأنه الحيلولة دون استخدام الصورية لوصف المادة.

لم نعثر بعد على الحل النهائي لمثل هذه الصعوبات. وسوف يظهر حلاً يومًا ما من مجموعة تجريبية أكثر دقة عن الجسيمات الأولية المختلفة، عن نشأتها واندثارها، عن القوى بينها. ربما ينبغي لنا أن نتذكر في البحث عن الحلول الممكنة لهذه الصعوبات، أنه من غير الممكن، تجريبيا، أن نستبعد انعكاس الزمان الذي ناقشناه من قبل، إذا ما وقعت فقط داخل مناطق صغيرة للغاية من المكان والزمان خارج نطاق أدواتنا التجريبية الحالية. بطبيعة الحال سنتردد في قبول مثل هذه العمليات من انعكاس الزمان إذا ما كان هناك إمكانية، في مرحلة لاحقة، في الفيزياء أن نتعقبها تجريبيا بالمعنى نفسه الذي نتعقب به الوقائع الذرية العادية. إلا إن تحليل نظريتي الكم والنسبية ربما يساعدنا مرة أخري على أن ننظر للمشكلة من منظور جديد.

ترتبط نظرية النسبية بثابت كوني في الطبيعة، هذا الثابت يحدد العلاقة بين المكان والزمان، ومن ثم فهو يوجد ضمنا في أي قانون طبيعي يحقق متطلبات ثابت لورنتز، إن لغتنا الطبيعية الدارجة ومفاهيم الفيزياء الكلاسيكية تنطبق فقط على الظواهر التي تعتبر سرعة الضوء، من الناحية العملية، لا نهائية.

عندما نقترب من سرعة الضوء في تجاربنا، علينا أن نكون مستعدين لنتائج لا يمكن تفسيرها بهذه المفاهيم.

ترتبط نظرية الكم بثابت كوني آخر في الطبيعة، وهو كم فعل بلانك **Plank's Quantum of Action**. إن الوصف الموضوعي للوقائع في المكان والزمان ممكن فقط إذا ما تعاملنا مع الأشياء أو العمليات على نطاق واسع نسبيا.

حيث يمكن اعتبار ثابت بلانك متناه في الصغر. فإذا ما اقتربنا بتجاربنا من هذه المنطقة التي يصبح فيها كم الفعل أساسيًا، فإننا نصل إلى تلك الصعوبات مع المفاهيم المعتادة التي ناقشناها في الفصول السابقة من هذا الكتاب.

لا بد من وجود ثابت كوني ثالث في الطبيعية. هذا يبدو واضحا لأسباب خالصة تتعلق بالأبعاد. فالثوابت الكونية هي التي تحدد ميزان الطبيعة، والكميات المميزة التي لا يمكن ردها إلى كميات أخري. نحن في حاجة إلى ما لا يقل عن ثلاث وحدات أساسية لتشكيل وحدة كاملة. من السهولة بمكان أن نفهم ذلك من المصطلحات التي اتفق عليها الفيزيائيون لنظام (س. ج. ث) (سينتميتر - جرام- ثانية) فوحدة الطول ووحدة الكتلة ووحدة الزمان تكفي لتشكيل مجموعة كاملة، بل لا بد من أن يكون لدينا ثلاث وحدات على الأقل. ويمكننا أن نستبدل بها وحدات للطول والسرعة والطاقة وهلم جرا، بيد أنه يلزم على الأقل وجود ثلاث وحدات أساسية. والآن، فإن سرعة الضوء وثابت بلانك للفعل يقدمان فقط وحدتين من الوحدات الثلاث الأساسية، ومن ثم كان لا بد من وجود الوحدة الثالثة، وإن أية نظرية يمكن أن تتضمن هذه الوحدة الثالثة لا يمكنها أن تحدد، ما أمكن، كتل وخصائص أخري للجسيمات الأولية. فإذا ما انطلقنا في الحكم من معرفتنا الحالية لهذه الجسيمات فإن أنسب طريقة لتقديم هذا الثابت الكوني الثالث هي افتراض وجود طول كوني قيمته نحو $١٠^{-١}$سم، أي أقل قليلا من نصف قطر النواة الذرية للضوء. عندما نشكل مثل هذه الوحدات الثلاث فإن هذا سيكون تعبيرا عن تطابق الكتلة مع أبعادها، وأن مرتبتها من نفس مرتبة حجم كتل الجسيمات الأولية.

إذا افترضنا أن قوانين الطبيعة تشتمل على ثابت كوني ثالث له بعد الطول ومرتبته $١٠^{-١٣}$سم، عندئذ يمكن أن نتوقع مرة أخري أن مفاهيمنا المعتادة يمكن أن تنطبق على المناطق من المكان والزمان التي هي من الضخامة مقارنة بالثابت الكوني. ينبغي إذن أن نكون على استعداد مرة أخرى لظواهر ذات طابع نوعي

جديد، وأن نقترب بتجاربنا من مناطق في المكان والزمان أصغر من أنصاف أقطار النواة. أما ظاهرة انعكاس الزمان، والتي ناقشناها والتي نتجت فقط عن اعتبارات رياضياتية باعتيارها احتمالا رياضياتيًا، ربما تنتمي إلى هذه المناطق بالغة الصغر. إذا كان ذلك كذلك، فإنه يتعذر علينا أن نلاحظها بطريقة تسمح لنا بوصفها باستخدام المفاهيم الكلاسيكية. ربما هذه العمليات التي تخضع للترتيب الزمني المعتاد يمكن ملاحظتها ووصفها بقدر ما، بالمصطلحات الكلاسيكية.

لكن كل هذه المشكلات هي موضوع بحث مستقبلي في الفيزياء الذرية. وقد يحدونا الأمل في أن الجهود المشتركة للتجارب في مجال الطاقة العالية مع التحليل الرياضياتي، سيؤديان يوما إلى فهم كامل لوحدة المادة، وأعني بعبارة "فهم كامل" أن صور المادة في الفلسفة الأرسطية ستبدو نتائج، وحلولاً للنهج الرياضياتي المغلق الذي يمثل القوانين الطبيعية للمادة.

١٠ ـ اللغة و الواقع في الفيزياء الحديثة

أثارت الاكتشافات و الأفكار الجديدة، طوال تاريخ العلم، جدلاً علميًا، حيث كانت تؤدى إلى أبحاث جدلية تنتقد الأفكار الجديدة، مثل هذا النقد كان غالبًا مفيدًا في تقدمها، إلا إن هذا الجدل قد يصل إلى ذروته عند اكتشاف نظرية النسبية وبدرجة أقل بعض الشيء، عند اكتشاف نظرية الكم. وحتى كلتا الحالتين ارتبطت المشاكل العلمية بالقضايا السياسية، وقد لجأ بعض العلماء إلى المناهج السياسية لينتصروا من خلالها لوجهة نظرهم. لا يمكن استيعاب رد الفعل العنيف هذا على التطور الحالى للفيزياء الحديثة إلا إذا أدركنا أن أسس الفيزياء قد بدأت في التحرك، وأن هذه الحركة قد تسببت في الشعور بأن أساس العلم قد بدأ في الانهيار. وهذا يعنى في الوقت ذاته، أن أحدًا على الأرجح لم يعثر بعد على اللغة الصحيحة التى نتحدث بها عن الوضع الجديد، وأن العبارات الخاطئة التى نشرت هنا وهناك في غمرة الحماس بالاكتشافات الجديدة قد تسببت في كل أشكال سوء الفهم. إنها بحق مشكلة جوهرية. إن التقنية التجريبية المحسنة في وقتنا هذا تجلب إلى نطاق العلم مظاهر جديدة من الطبيعة لا يمكن وصفها في حدود المفاهيم المشتركة. ولكن بأى لغة إذن ينبغي أن نصفها؟ إن أول لغة تنبثق عن عملية التوضيح العلمي في الفيزياء النظرية عادة ما تكون لغة رياضياتية، والنهج الرياضياتي، الذى يسمح لنا بتنبؤ نتائج التجارب، قد يقنع الفزيائى إذا ما كان لديه نهج رياضياتي، أن يعرف كيف يستخدمه في تفسير التجارب، إلا إن عليه أيضًا أن يتحدث عن نتائجه إلى غير الفيزيائين الذين لا يرضون إلا بتفسير واضح للغة ومفهوم للجميع، حتى بالنسبة للفيزائيين أنفسهم ينبغي أن يكون الوصف بلغة

واضحة. إن هذا النهج الرياضياتي يعد معيارا لمدى الفهم الذى يمكن التوصل إليه. لكن إلى أى مدى يمكن لهذا الوصف أن يكون ممكنا؟ وهل يمكن لنا أن نتحدث عن الذرة ذاتها؟ إنها مشكلة لغة، فضلا عن كونها مشكلة فيزياء أيضا، وبالتالى فثمة بعض الملاحظات الضرورية المتعلقة باللغة بوجه عام واللغة العلمية بوجه خاص.

شكَّل الجنس البشرى اللغة في عصر ما قبل التاريخ لتكون وسيلة للتواصل وأساسا للتفكير. ولا نعرف إلا القدر القليل عن الخطوات المختلفة التى أدت إلى تشكيل هذه اللغة، بيد أن اللغة الآن تشتمل على عدد كبير من المفاهيم التى تعد أداة مناسبة لمزيد من التواصل الواضح الذى لا لبس فيه فيما يتعلق بوقائع الحياة اليومية. وقد تم اكتساب هذه المفاهيم بالتدريج دون تحليل نقدى باستخدام اللغة، وبعد أن نستخدم كلمة ما استخدامًا كافيًا، غالبًا ما نعتقد أننا نعرف معناها. هذه حقيقة معروفة بطبيعة الحال، وهى أن معنى الكلمات ليس محددا بشكل واضح كما يبدو للوهلة الأولى، وأن مجال تطبيقها محدود للغاية. فنحن نتحدث، مثلاً، عن قطعة من الحديد أو قطعة من الخشب، و لكن لا نستطيع التحدث عن قطعة من الماء، فكلمة قطعة لا تنطبق على المواد السائلة، أو لنذكر مثالا أخر، في أثناء مناقشة حدود المفاهيم **limitations of concepts** يفضل بور أن يحكى هذه القصة التالية: "ذهب صبى صغير إلى متجر البقال وفى يده قرشا واحدًا، فسأل الصبى البقال، هل يمكن أن تعطينى بهذا القرش مزيجًا من الحلوى؟ فأخذ البقال قطعتين من الحلوى ووضعهما في يد الصبى قائلاً. لديك قطعتان من الحلوى، يمكن أن تمزجهما بنفسك". ومن الأمثلة الأخرى الأكثر جدية، هى العلاقة الإشكالية بين الكلمات والمفاهيم، فنحن نستخدم في حقيقة الأمر، كلمات "أحمر" و"أخضر" ويستخدمهما حتى أولئك الناس المصابين بعمى الألوان، رغم أن نطاق تطبيق هذه المصطلحات يختلف إلى حد ما عند غيرهم من الناس .

تم إدراك هذا اللايقين الطبيعي في معنى الكلمات مبكرا جدا، وهذا أدى إلى الحاجة إلى التعريفات. أو كما تقول كلمة "تعريف" لوضح الحدود التي بموجبها تحدد الموضع الذي نستخدم فيه الكلمة والذي لا نستخدمها فيه، بيد أن التعريفات لا يمكن إقرارها إلا بمساعدة مفاهيم أخرى، وهكذا يتعين علينا، في نهاية المطاف، أن نعتمد على بعض المفاهيم التي تؤخذ كما هي دون تحليل أو تعريف.

كانت المشكلة هي مفاهيم اللغة في الفلسفة اليونانية منذ سقراط **Socrates** التي كانت حياته، إذا ما تتبعناها من خلال التصوير الفني لأفلاطون في محاوراته، مناقشة مستمرة حول مضمون مفاهيم اللغة وحول حدود أنماط التعبير ولكن يرسى أرسطو أساسا متينا للتفكير العلمي، بدأ في تحليل صور اللغة، والبنية الصورية للنتائج والاستنباط، وهي كلها مستقلة عن مضمونها، وقد توصل بهذه الطريقة إلى درجة من التجريد والدقة لم تكن معروفة من قبل في الفلسفة اليونانية، وبالتالي ساهم أرسطو بشكل كبير في توضيح و توطيد النظام في مناهج تفكيرنا. لقد أبدع بحق أساس اللغة العلمية.

إن هذا التحليل المنطقي للغة ينطوي من ناحية أخرى على خطر التبسيط حيث يسترعي انتباهنا في المنطق إلى بنيات خاصة للغاية، للعلاقات الواضحة بين المقدمات والنتائج المستنبطة، وأنماط الاستدلال البسيطة، بينما نهمل كل بنيات اللغة الأخرى. هذه البنيات الأخرى ربما تنجم عن علاقات بين معانٍ محددةٍ لكلمات، فقد يكون هناك، مثلا، معنى ثانويا لكلمة مسموعة تمر بشكل غامض على العقل، وقد ساهم مساهمة أساسية في محتوى الجملة. حقيقة إن كل كلمة قد تسبب الكثير من النشاط نصف الواعي في عقولنا، وقد تستخدم لتمثيل جزء من الواقع في اللغة، بشكل أكثر وضوحا مقارنة باستخدام أنماط منطقية، لذا، فإن الشعراء كثيرا ما يعترضون على هذا التشديد في اللغة وفي التفكير على النمط المنطقي، هذا التشديد الذي يجعل اللغة أقل ملائمة للغرض الذي وضعت من أجله، إذا صح تفسيري لآرائهم. ولعلنا نذكر على سبيل المثال، كلمات فاوست لجوته حيث قال ميفيستوفيليس للطالب الشاب (نقلاً عن ترجمة آناسوانويك):

استثمر وقتك، فهو يمضي سريعًا

سيعلمك المنهج كيف تكسب وقتك

لذا أنصحك يا صديقي العزيز

بأن تبدأ بدراسة المنطق

عندئذ سيتدرب عقلك جيدًا

كما لو كان في حذاء إسباني

حتى يصير حذرًا

في مسيرة الأفكار والحفاظ على الدرب بشكل آمن

ولا يسلك شعابًا خاطئة

وستعلمك الأيام

أن ما كنت تفعله عفويًا

مثل الأكل والشرب

هو سلسلة من العمليات المتعاقبة: واحد، اثنان، ثلاثة

والحق أن صناعة الفكر

مثل صناعة النسيج

فزراع واحد تحركه قدم

يحرك آلاف الخيوط

ينطلق المكوك جيئة وذهابًا

فتنساب الخيوط دون أن نراها

وبطريقة واحدة تجتمع آلاف العقد

ثم يأتي الفيلسوف

ويبرهن لك أن الأمر لا بد من أن يكون هكذا

فإذا كان الأول هكذا، وإذا كان الثاني هكذا

فلا بد من أن يكون الثالث والرابع هكذا

هذا ما يشيد به الطلبة في كل مكان

لكن لم نر من بينهم نساجا واحدًا

إن من يعرض ويدرس ما هو حي

يبحث أولا عن استبعاد الروح

فلا يتبقى معه إلا شظايا هامدة

تفتقر، يا حسرتاه، إلى الرباط الروحي

يحتوى هذا المقطع على وصف رائع لبنية اللغة ولضيق أفق الأنماط المنطقية البسيطة.

من ناحية أخرى لا بد للغة العلم من أن تتأسس بوصفها وسيلة للاتصال، حيث تظل مشكلة الوضوح الأكثر أهمية، كما لا بد من أن تلعب الأنماط المنطقية دورها. يمكن أن نصف الصعوبة المميزة لهذه النقطة على النحو التالى: نحاول أن نستخلص في العلوم الطبيعية الخاص من العام، لفهم ظاهرة معينة ناجمة عن قوانين عامة بسيطة. عند صياغة القوانين العامة في لغة

ما لا بد من أن تشتمل على بعض المفاهيم البسيطة، وإلا فالقانون لا يكون بسيطًا ولا عامًا. من هذه المفاهيم تستمد طائفة لا حصر لها من الظواهر الممكنة، ليس فقط من الناحية النوعية، بل أيضًا بدقة كاملة فيما يتعلق بكل تفاصيلها. من الواضح أن مفاهيم اللغة الدارجة غير دقيقة وغامضة ومحدودة بحيث لا تسمح بمثل هذه الاشتقاقات. فإذا ما نجمت عن المقدمات المعطاه سلسلة من النتائج المستنبطة، فإن عدد الروابط الممكنة في هذه السلسلة يعتمد على دقة هذه المقدمات. لذا فإن مفاهيم القوانين العامة يجب أن تحدد بدقة بالغة في العلوم الطبيعية، ويمكن تحقيق ذلك عن طريق التجريد الرياضياتي.

قد يكون الوضع مشابهًا، إلى حد ما، في علوم أخرى، وذلك بالنسبة للحاجة إلى تعريفات دقيقة أيضًا، كالقانون مثلاً، ولكن لا يستلزم أن يكون عدد الروابط في سلسلة النتائج المستنبطة كبيرة جدًا. فلسنا في حاجة إلى دقة كاملة، فقط يكفي تعاريف دقيقة لمصطلحات اللغة الدارجة.

نحاول في الفيزياء النظرية فهم مجموعة من الظواهر بإدخال رموز رياضياتية يمكن ربطها بالوقائع، أعني مع نتائج القياس، فنستخدم أسماء لهذه الرموز بحيث تعطي صورة لعلاقتها مع القياس، لذا ترتبط الرموز باللغة، ثم يتم الربط بين الرموز عبر نظام صارم من التعريفات والبديهيات، وأخيرًا يتم التعبير عن قوانين الطبيعة باعتبارها معادلات بين الرموز. إن هذا التنوع اللانهائي في حلول هذه المعادلات يناظر إذن التنوع اللانهائى للظواهر الخاصة الممكنة في جزء من الطبيعة. بهذه الطريقة يمثل النهج الرياضياتي مجموعة الظواهر بقدر ما تذهب إليه العلاقة بين الرموز والقياس. إن هذا الارتباط هو الذى يسمح بالتعبير عن القوانين الطبيعة في حدود لغة مشتركة. لأننا نستطيع دائمًا وصف تجاربنا المكونة من أفعال وملاحظات بلغة دارجة.

إن عملية التوسع في المعرفة العلمية يتبعها توسع في اللغة أيضا، حيث تدخل مصطلحات جديدة وتطبق المصطلحات القديمة في مجالات أوسع أو مختلفة عن اللغة الدارجة. فمصطلحات مثل "الطاقة"، و"الكهرباء"، و"الإنتروبيا"، أمثلة واضحة على ما نذهب إليه، بهذه الطريقة نطور اللغة العلمية، وعندئذ يمكن أن نصفها بأنها امتداد للغة الدارجة بحيث تتكيف وفقا للمجالات المضافة من المعرفة العلمية. دخل عدد من المفاهيم الجديدة في الفيزياء خلال القرن الماضي، وقد تطلب الأمر بالنسبة للعلماء في بعض الحالات وقتا طويلاً قبل أن يعتادوا على استخدامها. فلم يكن مصطلح المجال الكهرومغناطيسي، على سبيل المثال، إلى حد ما موجوذا بالفعل في عمل فاراداى، والذي شكل فيما بعد أساس نظرية ماكسويل، والتي تم قبولها بسهولة من قبل الفيزيائيين، حيث وجهوا جل اهتمامهم، في المقام الأول، إلى الحركة الميكانيكية للمادة. إن إدخال هذا المفهوم يتضمن حقا تغيير، في الأفكار العلمية أيضا، وأن مثل هذه التغيرات ليست بالسهلة.

ومع ذلك، فإن جميع المفاهيم التى قدمت حتى نهاية القرن الماضى قد شكلت مجموعة متناسقة تماما تطبق على مجال واسع من الخبرة وقد شكلت، جنبا إلى جنب مع المفاهيم السابقة، ليس فقط لغة العلماء، بل أيضا لغة التقنيين والمهندسين، الذين نجحوا في تطبيقها في أعمالهم. ومن هذه الأفكار الجوهرية الكامنة في اللغة، الافتراضات التي تقول بأن ترتيب الوقائع في الزمان تكون مستقلة تماما عن ترتيبها في المكان، وأن الهندسة الإقليدية صحيحة في المكان الواقعى، وأن الوقائع التي تحدث " في المكان والزمان تكون مستقلة بصرف النظر إذا كانت ملاحظة أم لا. ولا ينكر أحد أن كل ملاحظة يكون لها تأثيرها على كل ظاهرة ملاحظة، ولكن من المفترض بوجه عام أن إجراء التجارب من شأنه أن يقلل هذا التأثير إلى أبعد حد ممكن، وذلك بإجراء التجارب بشكل حذر. ويبدو هذا، في حقيقة الأمر، شرطا ضروريا للموضوعية المثالية التي كانت تعتبر أساس كل العلوم الطبيعية.

في هذه الحالة الهادئة للفيزياء أحدثت نظرية الكم ونظرية النسبية الخاصة قطيعة مفاجئة، حيث كان التحول في أسس العلوم الطبيعية بطيئا في البداية، ثم ازداد تدريجيًا. تطورت المنافسات الجادة حول مشكلات المكان والزمان التي أثارتها نظرية النسبية. فكيف يمكن أن نتحدث عن الوضع الجديد؟ هل يمكن أن نعتبر أن تقلص لورنتز للأجسام المتحركة تقلصًا حقيقيا، أم إنه مجرد تقلص ظاهري؟ هل يمكن أن نقول إن بنية المكان والزمان تختلف عما كان مفترضًا، أم نقول فقط إن النتائج التجريبية يمكن أن ترتبط رياضياتيا بطريقة تتوافق مع هذه البنية الجديدة، بينما يبقى المكان والزمان نمطًا كليًا وضروريا تظهر فيه الأشياء لنا؟ إن المشكلة الحقيقة وراء هذه الخلافات العديدة هي حقيقة أنه لم توجد لغة يمكن أن نتحدث بها، بشكل منظم، عن الوضع الجديد. إن اللغة الدارجة ترتكز على مفهومي المكان والزمان القديمين. وهذه اللغة هي التي قدمت الوسيلة الوحيدة الواضحة للاتصال، فيما يتعلق بالنتائج والقياس. حيث أظهرت النتائج، حتى الآن، أن المفهومين القديمين لا يمكن تطبيقهما في كل الحالات.

كانت نقطة البداية الواضحة لتفسير نظرية النسبية تكمن في حقيقة أن النظرية الجديدة تطابق بشكل عملي النظرية القديمة في حالة السرعات المنخفضة (منخفضة مقارنة بسرعة الضوء)، لذا يتضح في هذا الجزء من النظرية أن ثمة طريقة يمكن بها ربط الرموز الرياضياتية مع القياسات ومصطلحات اللغة الدارجة، وبالفعل أدى هذا الارتباط إلى اكتشاف تحول لورنتز. لم يكن ثمة غموض فيما يتعلق بمعنى الكلمات والرموز في هذه الجزئية، وهذا الارتباط كان بالفعل كافيًا لتطبيق النظرية على مجال البحث التجريبى ككل المتعلق بنظرية النسبية. لذا، فإن القضايا الخلافية فيما يتعلق بتقلص لورنتز "الواقعي" أو "الظاهري"، أو فيما يتعلق بتعريف كلمة "متزامن" وهلم جرا، لم تكن القضايا تهتم بالوقائع وإنما بالأحرى تهتم باللغة.

من جهة أخرى، فيما يتعلق باللغة، فقد أدركنا بالتدريج أنه ربما يتعين علينا ألا نصر كثيرًا على مبادئ بعينها. فهناك دائمًا صعوبة أن نعثر على معيار عام مقنع فيما ينبغي أن نستخدمه من مصطلحات اللغة وكيف ينبغي لنا أن نستخدمها، وعلى هذا ينبغي أن ننتظر ببساطة تطور اللغة، التي تكيف نفسها بعد فترة ما مع الوضع الجديد. حدث هذا التكيف بالفعل في نظرية النسبية الخاصة في معظمه خلال الأعوام الخمسين الفائتة. لقد زال هذا التمييز ببساطة، على سبيل المثال بين التقلص "الواقعي" أو "الظاهري". أما كلمة "متزامن" فتستخدم على منوال التعريف نفسه الذي أعطاه لها آينشتين، في حين أن التعريف الأوسع لهذا المصطلح الذي ناقشناه في الفصل السابق، وهو في "المسافة التي تشبه المكان"، هو مصطلح شائع الاستخدام، وهلم جرا.

أما فيما يتعلق بنظرية النسبية العامة فقد عارض بشدة بعض الفلاسفة فكرة الهندسة غير الإقليدية فيما يتعلق بالمكان الواقعي، وأشاروا إلى أن منهجنا في تشييد التجارب يفترض بالفعل الهندسة الإقليدية.

ففي حقيقة الأمر إذا ما حاول حرَفي ما أن يعد سطحًا مستويًا بدقة، فإنه قادر على فعل ذلك بالطريقة التالية، أن يبدأ أولاً بإعداد ثلاثة أسطح بالحجم نفسه قدر الإمكان، ومتساوية بهذا القدر نفسه، ثم يحاول إذن أن يجعل اثنين من هذه الأسطح الثلاثة يتلامسان بأن يضعهما في مقابلة بعضهما بعضًا في مواضع نسبية مختلفة. عندئذ يمكن اعتبار أن درجة هذا التلامس الكلي هي قياسًا لدرجة الدقة التي تجعلنا نقول بأن هذين السطحين متساويان. لن يرضى الحرفيين بهذه الأسطح الثلاثة إلا إذا كان التلامس بين أي اثنين منهم كاملاً في جميع الأوضاع. فإذا ما حدث ذلك يمكننا البرهنة رياضياتيًا على أن الهندسة الإقليدية تصح على الأسطح الثلاثة. بهذه الطريقة كان ثمة حجة تقول إن الهندسة الإقليدية صحيحة فقط من خلال قياساتنا الخاصة بنا.

بطبيعة الحال يمكن أن نقدم إجابة من وجهة نظر النسبية العامة. علـــى أن هذه الحجة تبرهن على صحة الهندسة الإقليدية فقط في الأبعاد الصغيرة، إنها أبعاد أجهزتنا التجريبية. إن هذه الدقة التي تحملها في هذا النطاق علـــى درجـــة عاليـــة للغاية، وهذا يجعلنا نجرى دائما تلك العملية السابقة في إعـــداد أســـطح مـــستوية. لا نستطيع أن ندرك هذه الانحرافات شديدة التفاهة من الهندسة الإقليدية التـــى مـــا زالت متواجدة في هذا النطاق، لأن الأسطح مصنوعة من مادة ليست صلبة تمامًا، بل تسمح بتشوهات ضئيلة للغاية، كما أن مفهوم "التلامس" لا يمكن تعريفـــه بدقـــة كاملة، أما بالنسبة للأسطح على المستوى الكوني فإن العملية التي وصفناها للتو لن تعمل، وهذه ليست مشكلة الفيزياء التجريبية.

مرة أخرى فإن نقطة البداية الواضحة للتفسير الفيزيائى للنظام الرياضياتى في النسبية العامة، هي حقيقة أن الهندسة تقترب اقترابًا كبيرًا من الإقليدية بالنسبة للأبعاد الصغيرة، ففي هذا المجال تقترب النظرية من النظرية الكلاسيكية، لذا فإن هذه العلاقة الوطيدة بين الرموز الرياضياتية والقياسات، وبين المفاهيم في اللغـــة الدارجة ستكون علاقة واضحة المعالم. ومع ذلك يمكننا الحـــديث عـــن هندســـة لا أقليدية في الأبعاد الأكبر. كان ثمة تطور حدث من قبل رياضيين أمثال جاوس في جوتنجن، حيث ذهب إلى إمكانية وجود هندسة لاأقليدية في المكان الـــواقعي وكان ذلك قبل نظرية النسبية العامة بوقت طويل. فقـــد قـــام جـــاوس بقياســـات جيوديسية دقيقة على مثلث مكون من ثلاث جبال، جبل بروكن في جبال هارتس، وجبل إينسلبرج في ثورنجيا، وجبل هوهنهاجن بالقرب من جوتنجن، فقد قيـــل إن جاوس راجع بعناية بالغة ما إذا كان مجموع الزوايا الثلاث (للمثلـــث) يـــساوى ١٨٠ درجة، وأنه قد وضع في الاعتبار الاختلاف الذي يبـــرهن علـــى إمكانيـــة وجود انحرافات عن الهندسة الإقليدية. على أية حال لم يجد جـــاوس بالفعـــل أى انحرافات داخل قياساته الدقيقة.

إن اللغة التي نصف بها القوانين في نظرية النسبية العامة غدت الآن بالفعل لغة تحذو حذو اللغة العلمية لعلماء الرياضيات، وفيما يتعلق بوصف تجاربهم يمكن أن نستخدم مفاهيم دارجة، ومن ثم كانت الهندسة الإقليدية صحيحة بما لـديها مـن دقة كامنة للأبعاد الصغيرة، أما المشكلة الأكثر صعوبة والتى تتعلق باستخدام اللغة، فقد ظهرت في نظرية الكم، فلم يكن لدينا في البداية أى دليل بسيط على هذه العلاقة بين الرموز الرياضياتية ومفاهيم اللغة الدارجة. كان كل ما نعرفه في البداية هـو حقيقة أن مفاهيمنا الشائعة لا يمكن تطبيقها على بنية الذرات. مرة أخـرى كانـت نقطة البداية الواضحة في التفسير الفيزيائي للصورية هي أن الـنهج الرياضـياتى لميكانيكا الكم يقترب من الميكانيكا الكلاسيكية في الأبعاد التي هي أكبـر مقارنـة بحجم الذرات، إلا إن هذه العبارة بها بعض التحفظات. فهناك العديد مـن حلـول المعادلات النظرية في نظرية الكم، والتي ليس لها نظير في الفيزياء الكلاسـيكية، في هذه الحلول تظهر ثمة ظاهرة "تداخل الاحتمالات" والتى ناقشتها في الفـصول السابقة، وهى لم تكن موجودة في الفيزياء الكلاسيكية. لذا فإن العلاقة بين الرمـوز الرياضية والقياسات والمفاهيم الدارجة في حدود الأبعاد الكبيـرة ليـست سـاذجة، ولكي نصل إلى مثل هذه العلاقة الواضحة لا بد من أن نضع في الاعتبـار ملمـح آخر من ملامح المشكلة، لا بد من أن نلاحظ أن النظام الذي يتعامل مـع منـاهج ميكانيكا الكم، في حقيقة الأمر جزء من نظام أكبر بكثير (أكبر من العالم ككـل)، فهى تتفاعل مع هذا النظام الأكبر، ولا بد من أن نصف فنقول إن هذه الخـصائص الميكروسكوبية للنظام الأكبر غير معروفة. (على نطاق واسع على الأقـل) هـذه العبارة بلا شك تعد وصفًا صحيحًا للموقف الفعلى. ولما كان هذا النظام لا يمكن أن يكون موضوعًا للقياسات وللأبحاث النظرية، فإنه بطبيعة الحال لا ينتمي إلى عـالم الظواهر ما لم يكن هناك تفاعل مع هذا النظام الأكبر الذي يعد الملاحظ جزءًا منه. هذا التفاعل مع النظام الأكبر مع خصائصه الميكروسكوبية غير المحددة يقدم إذن، عنصرًا إحصائيًا جديدًا لوصف النظام موضع الاعتبار – النظام النظري في كـل

من نظرية الكم والكلاسيكية. هذا العنصر الإحصائى في الحالة الحدية للأبعاد الأكبر يقوض تأثير "تداخل الاحتمالات" بحيث يقترب حقًا مثل هذا الأسلوب، والذي هو النظام الميكانيكى الكمي، من النظام الكلاسيكى في الحالة الحدية. لذا فإن هذا الإرتباط بين الرموز الرياضياتية لنظرية الكم ومفاهيم اللغة الدارجة واضح، وهذا الارتباط كاف لتفسير التجارب. أما المشكلات الباقية فهي تتشغل مجددًا باللغة أكثر من الوقائع. فهي تنتمى إلى مفهوم "الواقعية" التى يمكن وصفها باللغة الدارجة.

يبدو أن مشكلة اللغة هنا خطيرة حقًا. ونود أن نتحدث بطريقة ما عن بنية الذرات وليس فقط عن "الوقائع". حيث تمثل هذه الأخيرة بقعًا سوداء على لوحة فوتوغرافية أو قطرات ماء صغيرة للغاية في غرفة سحابية. إننا لا يمكننا الحديث عن الذرات باللغة الدارجة.

يمكن أن نواصل التحليل الآن إلى أبعد من ذلك من خلال طريقتين مختلفتين تمامًا: فيمكننا أن نطرح سؤالاً: أية لغة تهتم بالذرات قد تطورت بالفعل بين الفيزيائيين في الثلاثين عامًا الفائتة منذ صياغة ميكانيكا الكم؟ أو قد نصف المحاولات لتعريف لغة علمية دقيقة تناظر النهج الرياضياتي؟

لإجابة السؤال الأول ربما يمكننا القول إن مفهوم التتام الذي قدمه بور لتفسير نظرية الكم قد شجع الفيزيائيين على استخدام لغة غامضة، وليس لغة واضحة. وعلى استخدام مفاهيم كلاسيكية بأسلوب غامض نوعًا ما تتفق مع مبدأ اللايقين، وعلى أن يطبقوا مفاهيم كلاسيكية مختلفة بديلة والتي بدورها أدت إلى تناقضات إذا ما استخدمت بطريقة متزامنة. بهذه الطريقة يمكننا الحديث عن مدارات إلكترونية من موجات المادة وكثافة الشحنة، ومن الطاقة و كمية الحركة وهلم جرا. نحن على وعي دائم بحقيقة أن لهذه المفاهيم مجالاً محدودًا من التطبيق عندما نستخدم، بشكل غامض وغير منهجي، هذه اللغة، فإن هذا يقودنا إلى صعوبات، ويتوجب على الفيزيائي أن ينسحب إلى النظام الرياضياتى والعلاقة

الواضحة بالوقائع التجريبية. إن استخدام اللغة على هذا النحو مرض تمامًا من عدة وجوه، حيث يذكرنا باستخدام مماثل لهذه اللغة في الحياة اليومية أو في الشعر. ندرك أن وضع التتام ليس محصورًا في العالم الذرى وحده، فنحن نقابله عندما نتأمل في قرار ما وفى دوافع قراراتنا أو عندما يكون لدينا الخيار بين أن نستمتع بالموسيقى أو أن نحلل بنيتها. من جهة أخرى، عندما نستخدم المفاهيم الكلاسيكية بهذه الطريقة، فإنها تظل بالتأكيد غامضة، ولا تحرز في علاقتها بالواقع، إلا المغزى الإحصائى نفسه لمفاهيم الديناميكا الحرارية الكلاسيكية في تفسيرها الإحصائي. لذا قد يكون مفيدًا أن نناقش، باختصار، هذه المفاهيم الإحصائية للديناميكا الحرارية.

يبدو أن مفهوم " درجة الحرارة " في الديناميكا الحرارية الكلاسيكية يصف سمة موضوعية من سمات الواقع. إنها الخاصية الموضوعية للمادة، فمن السهولة بمكان في الحياة اليومية أن نتعرف بمساعدة الترمومتر (ميزان الحرارة) على ما نعنيه بقولنا إن قطعة ما من المادة لها درجة حرارة معينة. بيد أننا إذا ما حاولنا أن نعرف ما الذى تعنيه درجة حرارة ذرة ما، حتى في الفيزياء الكلاسيكية، فإن الوضع سيكون شديد الصعوبة. لا يمكننا بالفعل أن نربط مفهوم "درجة حرارة الذرة" بأية خاصية معروفة جيدًا للذرة، بل علينا أن نربطها على الأقل جزئيًا بمعرفتنا بخصائص الذرة، لكن سيبدو أن الحكم على توقع ما أفضل حالاً مقارنة من تعريف مفهوم "المزج" في قصة الصبي الذي أشترى مزيجًا من الحلوى.

بالطريقة نفسها تصبح كل المفاهيم الكلاسيكية عند تطبيقها على الذرة في نظرية الكم، محددة بشكل لا أفضل و لا أقل من "درجة حرارة الذرة"، فكلاهما يرتبطان بتوقعات إحصائية، ولا يصبح التوقع مكافئًا لليقين إلا في حالات نادرة. مرة أخرى، كما في الديناميكا الحرارية الكلاسيكية، يصعب أن نطلق على التوقع بأنه موضوعي، ربما أطلقنا عليه النزوع نحو الموضوعية أو إمكانية الموضوعية أو الوجود "بالقوة" بالمعنى المستخدم في الفلسفة الأرسطية. إننى أعتقد في حقيقة

الأمر أن اللغة التى يستخدمها الفيزيائيون بالفعل، عندما يتحدثون عن الوقائع الذرية، إنما توحي لهم بأفكار مماثلة في أذهانهم لمفهوم الوجود "بالقوة". لذا تعود الفيزيائيون تدريجيا على ألا يعتبروا المدارات الإلكترونية حقيقة واقعية، وإنما نوعا من الوجود بالقوة. إن اللغة التى تكيف نفسها، على نطاق محدود على الأقل، على هذا الوضع الحقيقى ليست لغة دقيقة يمكن أن نستخدمها في الأنماط المنطقية العادية، إنها لغة تنتج صورًا في عقولنا، كما تنتج في الوقت ذاته صورا ليست لها إلا ارتباط غامض بالواقع، والتى تمثل فقط نزوعًا نحو الواقع.

وقد أدى هذا الغموض في هذه اللغة المستخدمة من قبل الفيزيائيين، إلى محاولات لتعريف لغة أخرى دقيقة والتي تسلك أنماطًا منطقية محددة تتطابق تمامًا مع النهج الرياضياتي لنظرية الكم. ويمكن أن نصرح بأن نتائج هذه المحاولات التي قام بها بيركهوف **Birkhoff** ونويمان **Neumann**، ثم فايتسيكر **Weizsäcker** الأكثر حداثة، بالقول إنه من الممكن أن نفسر النهج الرياضياتي لنظرية الكم بأنه امتداد أو تعديل للمنطق الكلاسيكى. فثمة مبدأ جوهرى بشكل خاص للمنطق الكلاسيكى يبدو أنه في حاجة إلى تعديل. إذ ثمة افتراض في المنطق الكلاسيكي مؤداه أنه إذا كان لعبارة ما أي معنى على الإطلاق فلا بد من أن تكون هذه العبارات أو نقيضها صحيحة، فإذا ما قلت " يوجد منضدة هنا" أو "لا يوجد منضدة هنا". فإما أن تكون الأولى صحيحة أو الثانية صحيحة، ولا توجد إمكانية لوجود احتمال ثالث. ربما لا نعرف ما إذا كانت العبارة أم نقيضها هو الصحيح. لكن واحدة منهما فقط تكون في الواقع صحيحة.

يتم تعديل قانون "لا ثالث بينهما" في نظرية الكم. بطبيعة الحال يمكننا أن نقدم حجة ضد أى تعديل لهذا المبدأ الجوهري، بأن هذا المبدأ يتم افتراضه في اللغة الطبيعية الدارجة. لذا سيكون من التناقض الذاتي أن نصف النهج المنطقي بلغة طبيعية دارجة وهي لغة لا تتوافق معه. في حين أن فايتسيكر يشير إلى أنه بإمكاننا أن نميز بين عدة مستويات مختلفة من اللغة.

أحد هذه المستويات هو ما يشير إلى الأشياء.، الذرات، مثلاً أو الإلكترونات.أما المستوى الثاني يشير إلى عبارات تعبر عن الأشياء. أما المستوى الثالث ربما يشير إلى العبارات التى تعبر عن الأشياء، وهلم جرا. عندئذ من الممكن أن يكون لدينا أنماط منطقية مختلفة عند مستويات مختلفة. صحيح أننا علينا أن نعود ثانية إلى اللغة الطبيعية الدارجة، ومن ثم إلى الأنماط المنطقية الكلاسيكية، إلا إن فايتسيكر يقترح أن المنطق الكلاسيكي ربما يكون قبليًا بالطريقة نفسها بالنسبة لمنطق الكم، بقدر ما تكون الفيزياء الكلاسيكية بالنسبة لنظرية الكم. يتم احتواء المنطق الكلاسيكي إذن باعتباره نوعا من الحالة الحدية في منطق الكم، في حين أن منطق الكم يشكل النموذج المنطقى الأكثر عمومية.

إن التعديل الممكن للنمط المنطقي الكلاسيكي سيتعلق إذن بالإشارة أولا إلى المستوى الخاص بالأشياء. دعونا نضع في الاعتبار حركة ذرة ما داخل صندوق مغلق به حاجز يقسمه إلى جزأين متساويين. هذا الحاجز به ثقب صغير للغاية يسمح للذرة أن تخترقه. وفقا للمنطق الكلاسيكي فإن الذرة إما أن تكون في النصف الأيسر من الصندوق أو في النصف الأيمن منه. وليس ثمة إمكانية لوضع ثالث. في حين علينا أن نعترف في نظرية الكم – إذا ما استخدمنا كلمات "الذرة" و"الصندوق" على الإطلاق – ومن ثمة إمكانيات أخرى كل منها مزيج غريب من الاحتمالين السابقين. إن هذا ضروري لتفسير نتائج تجاربنا. يمكن أن نلاحظ، مثلاً، الضوء الذي يستطير بسبب الذرة، حيث يمكننا إجراء ثلاث تجارب: الأولى تكون الذرة محصورة في النصف الأيسر من الصندوق (عن طريق غلق الثقب مثلاً)، ونقوم بقياس كثافة توزيع الضوء المستطار، أما الثانية تكون الذرة محصورة في النصف الأيمن من الصندوق، ونقوم مرة أخرى بقياس كثافة توزيع الضوء المستطار، أما الثالثة تكون الذرة حرة التحرك في الصندوق ككل لنقيس مرة ثانية كثافة توزيع الضوء المستطار، فإذا ما بقيت الذرة دائما إما في النصف الأيسر

أو في النصف الأيمن من الصندوق، فإن التوزيع الأخير للكثافة لا بد من أن يكون مزيجا (وفقا لنسبة الزمن الذي تقضيه الذرة في كل من النصفين) من توزيع الكثافة في الحالتين السابقتين. بيد أن هذا ليس صحيحا تجريبيًا بوجه عام. إن "تداخل الاحتمالات" يقوم بتعديل توزيع الكثافة الحقيقى، وهذا ما قد ناقشناه من قبل.

لكي نتمكن من تدبر هذا الموقف قدم فايتسيكر مفهوم "درجة الصدق" فأية عبارة بسيطة في أي خيار وليكن " إن الذرة في النصف الأيسر (أو الأيمن) من الصندوق هناك عدد مركب يتم تعريفه باعتباره قياسا لدرجة صدقه"، فإذا كان العدد "واحد"، فهذا يعنى أن العبارة صحيحة، فإذا ما كان العدد صفر، فهذا يعنى أن العبارة كاذبة، بيد أن هناك قيمًا أخرى ممكنة. وإن المربع المطلق للعدد المركب يعطى إمكانية أن تكون العبارة صحيحة، وحاصل جمع الاحتمالين طرفى الخيار (إما "اليسار" أو "اليمين" في حالتنا) لا بد من أن يساوي الوحدة. لكن كل زوجين من الأعداد المركبة، التي تسير إلى طرفي الخيار، يمثل وفقا لتعريفات فاتيسيكر "عبارة" لا بد من أن تكون صحيحة بالتأكيد إذا كان للأعداد هذه القيم بالضبط. فالعددان – على سبيل المثال، كافيان لتحديد كثافة توزيع الضوء المستطار في تجربتنا، فإذا سمحنا باستخدام مصطلح "عبارة" بهذه الطريقة؛ فمن الممكن أن نقدم مصطلح "التتام" بالتعريف التالى: كل عبارة لا تتطابق مع أى من عباراتى الخيار – في حالتنا هما العبارتين "الذرة في النصف الأيسر" أو "الذرة في النصف الأيمن من الصندوق" – تسمى تتام لهاتين العبارتين، وتكون مشكلة ما إذا كانت الذرة في اليسار أو اليمين بالنسبة لكل عبارة متممة هي أمر غير محسوم، إلا إن مصطلح "غير محسوم" لا يساوي مصطلح "غير معلوم" وإن مصطلح "غير معلوم" يعني أن الذرة توجد واقعيا إما على اليسار أو على اليمين، لكن لا نعرف أين توجد. إلا إن مصطلح "غير محسوم" يشير إلى موقف مختلف، يتم التعبير عنه عبر عبارة التتام.

هذا النمط المنطقي الكلاسيكي، والذي لا يمكن وصف تفاصيله هنا، يناظر بدقة الصورية الرياضياتية لنظرية الكم، فهو يشكل أساس اللغة الدقيقة التي يمكن استخدامها في وصف بنية الذرة، إلا إن تطبيق مثل هذه اللغة يثير عددا من المشكلات الصعبة التي سنناقش اثنتين منهما فقط هنا: العلاقة بين المستويات المختلفة للغة والنتائج المترتبة عن الأنطولوجيا الأساسية. إن العلاقة بين المستويات المختلفة للغة في المنطق الكلاسيكي هي علاقة تطابقية. إن العبارتين القائلتين "الذرة في النصف الأيسر" و "صحيح أن الذرة في النصف الأيسر"، ينتميان منطقيًا لمستويات مختلفة، هاتان العبارتان متساويتان تمامًا في المنطق الكلاسيكي، أي إما أنهما صحيحتان أو كاذبتان، ولا يمكن لإحداهما أن تكون صحيحة والأخرى كاذبة، أما في النمط المنطقي للتتام فإن الأمر أكثر تعقيدًا من هذه العلاقة، فصحة أو عدم صحة العبارة الأولى لا يزال ينطوي على صحة أو عدم صحة العبارة الثانية، ولكن عدم صحة العبارة الثانية لا يعني عدم صحة العبارة الأولى، إذا كانت العبارة الثانية غير صحيحة، فقد لا تكون الذرة موجودة في النصف الأيسر، فهذا لا يتضمن بالضرورة أن تكون الذرة في النصف الأيمن. لا يزال هناك تكافؤ كامل بين مستويين من مستويات اللغة فيما يتعلق بصحة العبارة، ولكن ليس فيما يتعلق بعدم صحتها. يمكن أن نفهم من هذه العلاقة استمرار القوانين الكلاسيكية في نظرية الكم: فإذا ما أمكن استخلاص نتيجة محددة من التجربة المعطاه من تطبيق القوانين الكلاسيكية فإنه سيتبع ذلك أيضًا ظهور نتيجة في نظرية الكم والتي ستكون صحيحة تجريبيًا.

إن الهدف النهائي لمحاولة فايتسيكر هو أيضًا تطبيق الأنماط المنطقية المعدلة من المستويات الأعلى للغة، إلا إن هذه المشكلات لا يمكن مناقشتها هنا.

أما المشكلة الأخرى فهي تتعلق بالأنطولوجيا التي تشكل الأنماط المنطقية المعدلة. فإذا كان ثمة زوج من الأعداد المعقدة تمثل "عبارة" بالمعنى الذي وصفناه للتو،

فهناك وجود "حالة" أو "موقف" في الطبيعة تكون فيه العبارة صحيحة، سوف نستخدم كلمة "الحالة" في هذا الصدد. فالحالات التى تتطابق مع عبارات التتام أطلق عليها فايتسيكر "حالات التعايش". هذا المفهوم "الحالة" يشكل إذن التعريف الأول المتعلق بأنطولوجيا نظرية الكم. نرى لأول وهلة أن هذا الاستخدام لكلمة "الحالة"، ولا سيما مصطلح "حالات التعايش"، يختلف كثيرا عن الأنطولوجيا المادية المعتادة، والتي يجوز أن نشك في صلاحية استخدام المصطلح. من جهة أخرى إذا ما أخذنا في الاعتبار كلمة "حالة" باعتبارها وصفا لإمكانية ما أكثر من كونها وصفا لواقع – بل يمكن ببساطة أن نستبدل مصطلح "إمكانية" بمصطلح "حالة" عندئذ يكون مفهوم "إمكانيات التعايش" مقبولا تمامًا، لأن الإمكانية ربما تتضمن أو تسمح بتداخل إمكانات أخرى.

يمكن تفادى كل هذه التعريفات الصعبة والفروق إذا اقتصرت اللغة على وصف الوقائع، أعني النتائج التجريبية. ومع ذلك إذا رغبنا في الحديث عن الجسيمات الذرية ذاتها، فيجب أن نستخدم إما نهج رياضياتي بوصفه إضافة وحيدة إلي اللغة الطبيعية الدارجة، أو أن نجمع بينه و بين اللغة التي تستخدم منطقًا معدلا، أو لا تستخدم منطقا معروفا على الإطلاق. يتعين علينا التعامل في التجارب المتعلقة بالوقائع الذرية مع الأشياء والوقائع، والظواهر التي هي من الواقعية مثل، ظواهر الحياة اليومية. لكن الذرات أو الجسيمات الأولية الطبيعية ذاتها ليست واقعية، بل هي عالم من الإمكانات والاحتمالات، وليست من الأشياء أو الوقائع.

١١ـ دور الفيزياء الحديثة في التطور المعاصر للفكر البشري

تم مناقشة المضامين الفلسفية للفيزياء الحديثة في الفصول السابقة بهدف إظهار أن هذا الجزء الأكثر حداثة من العلم يمس، في عدة نقاط، اتجاهات فكرية قديمة للغاية، فهو يتناول بعض من المشكلات الأكثر قدمًا من زاوية جديدة. ربما كان صحيحا تماما أن أهم التطورات المثمرة التى حدثت فى تاريخ الفكر البشري بوجه عام في تلك النقاط تتقابل مع خطين مختلفين من الفكر، قد يكون لهذه الخطوط جذورها في أجزاء مختلفة تماما من الثقافة الإنسانية، في أزمنة مختلفة أو بيئات ثقافية مختلفة أو تقاليد دينية مختلفة: وبالتالي إذا ما تقابلت فعليًا، بمعنى إذا ما كانت على الأقل متصلة مع بعضها بعضا والذي يُحدث هذا التفاعل الحقيقي بينهما، عندئذ ربما يحدونا الأمل في نشوء تطورات جديدة ومثيرة للاهتمام.

تتغلغل الفيزياء الذرية بالفعل في عصرنا الحالي، باعتبارها جزءا من العلم الحديث، تقاليد ثقافية مختلفة للغاية، حيث لا يتم دراستها فقط في أوروبا والدول الغربية، حيث تنتمى إلى النشاط التقليدي في العلوم الطبيعية، بل يتم دراستها أيضا في الشرق الأقصى في بلدان مثل اليابان والصين والهند، بما لها من خلفيات ثقافية مختلفة تماما عن روسيا ذاتها، حيث ظهر في زمننا هذا أسلوب جديد للتفكير، أسلوب جديد ينتمي إلى التطورات العلمية في أوروبا خلال القرن التاسع عشر، هذا الأسلوب ينتمي إلى تقاليد روسية أخرى مختلفة تمامًا. ولا يمكن بطبيعة الحال أن يكون الهدف من المناقشة التالية تقديم تنبؤات تتعلق بنتائج محتملة للصدام بين أفكار الفيزياء الحديثة والتقاليد القديمة، لكن من الممكن أن نحدد نقاطًا يبدأ من خلالها، التفاعل بين الأفكار المختلفة.

عندما نضع في اعتبارنا عملية التوسع في الفيزياء الحديثة فإننا بالتأكيد لا يمكن فصلها عن التوسع العام في العلوم الطبيعية، والصناعة والهندسة والطب وغيرها، بمعنى استحالة فصلها بوجه عام عن الحضارة الحديثة في كل أنحاء العالم، إن الفيزياء الحديثة ليست سوى حلقة واحدة من سلسلة طويلة من الأحداث بدأت من أعمال بيكون وجاليليو وكبلر، ومن التطبيقات العملية للعلوم الطبيعية في القرنين السابع عشر والثامن عشر. كان الارتباط بين العلوم الطبيعية والعلوم التقنية من البداية ارتباط متبادل، فالتقدم في العلوم التقنية، وتحسن الأدوات، واختراع الأجهزة التقنية الجديدة، كل هذا قد وفر الأساس لمزيد من الدقة، والمعرفة التجريبية للطبيعة. لقد فتح التقدم في فهم الطبيعة والصياغة الرياضياتية لقوانين الطبيعية، الطريق إلى تطبيقات جديدة لهذه المعرفة في العلوم التقنية، على سبيل المثال، كان اختراع التليسكوب قد مكن علماء الفلك من قياس حركة النجوم بشكل أكثر دقة من ذي قبل، ومن ثم حدث تقدم كبير في علم الفلك والميكانيكا لم يكن ممكنا من قبل، من جهة أخرى كان للمعرفة الدقيقة بالقوانين الميكانيكية قيمتها الكبيرة في تحسن الأدوات الميكانيكية وفي بناء المحركات... إلخ. بدأ التوسع الكبير لهذا المزيج بين العلوم الطبيعية والتقنية عندما نجح البعض في وضع بعض قوى الطبيعة لخدمة الإنسان، فالطاقة المخزونة في الفحم على سبيل المثال، يمكن أن تؤدى بعض الأعمال التي كان يقوم بها الإنسان نفسه سابقًا، ويمكن أن نعتبر الصناعات التي نمت من هذه الإمكانات الجديدة امتدادًا طبيعيًا وتوسعًا لحرف قديمة، فعمل الآلة يشبه في العديد من النقاط الحرف اليدوية، وعمل المصانع الكيميائية يمكن اعتباره استمرارًا لمصانع الصبغات والصيدليات في الأزمنة القديمة، ثم تطورت في وقت لاحق فروع جديدة متقدمة تمامًا لم يكن لها نظير في الحرف القديمة مثل الهندسة الكهربائية، لقد أتاح توغل العلم في المناطق النائية من الطبيعة، للمهندسين استخدام قوى الطبيعة في فترات سابقة والتي كانت معروفة

بالكاد، وكان للمعرفة الدقيقة لهذه القوى، من حيث الصياغة الرياضياتية للقوانين التى تحكمها، الفضل في تشكيل الأساس الصلب لتشييد كل أنواع الآلات.

وقد أدى هذا النجاح الهائل، نتيجة هذا المزج بين العلوم الطبيعية والتقنية، إلى تفوق واضح لتلك الأمم أو الدول أو المجتمعات التي ازدهرت بها مثل هذا النوع من النشاط الإنساني، وكنتيجة طبيعية لهذا النشاط فقد أخذت به حتى تلك الأمم التي لم تكن تميل إلى الاتجاه نحو العلوم الطبيعية والتقنية بحكم تقاليدها، وبعد انتهاء وسائل الاتصال والنقل الحديثة بدأت عملية التوسع في الثقافة التقنية. مما لا شك فيه أن هذه العملية قد أحدثت تغيرا جذريا في أوضاع الحياة على أرضنا، وسواء وافقنا على ذلك أم لا، وسواء أطلقنا على هذا تقدمًا أو خطرًا، فعلينا أن ندرك أنها قد خرجت عن أي سلطة من قبل القوى البشرية، وربما اعتبرناها عملية بيولوجية على أوسع نطاق، حيث تتعدى فيها البنى الفعالة للكائن البشري على أجزاء مادية أكبر وتحويلها إلى حالة ملائمة للزيادة السكانية.

تنتمي الفيزياء الحديثة إلى أكثر الأجزاء حداثة في هذا التطور، ونتيجتها الأكثر وضوحا كانت للأسف اختراع الأسلحة النووية، حيث ظهر جوهر هذا التطور أوضح ما يكون، فمن جهة أظهرت، بشكل واضح، أن التغيرات التي نجمت عن المزج بين العلوم الطبيعية والتقنية لا يمكن أن ننظر إليها بتفائل، فقد بررت هذه التغيرات، جزئيا على الأقل، وجهات نظر أولئك الذين كانوا يحذرون دائما من مخاطر التحول الجذري في الأوضاع الطبيعية للحياة، ومن ناحية ثانية قد تضطر حتى تلك الدول أو الأفراد الذين حاولوا البقاء بعيدا عن هذه المخاطر أن يوجهوا انتباههم إلى تطور جديد، حيث أصبح واضحا أن السلطة السياسية، ممثلة في السلطة العسكرية التي تعتمد على امتلاك الأسلحة الذرية وبالتأكيد إن هذا الكتاب ليس من مهمته أن يناقش على نطاق واسع الآثار السياسية للفيزياء النووية، ولكن على الأقل يمكن أن نقول إنه يعطي أفكارا حول هذه المشكلات التي دائما ما تخطر على عقول الناس لأول وهلة عندما يتم ذكر الفيزياء الذرية.

من الواضح أن اختراع أسلحة جديدة، بخاصة الأسلحة الثريونووية (الأسلحة النووية الحرارية) قد أحدث تغيرًا جذريًا في بنية العالم السياسية، لم يقتصر هذا التغيير على مفهوم الأمم أو الدول المستقلة فحسب، ذلك لأن أية أمة لا تملك حيازة مثل هذه الأسلحة عليها أن تعتمد، بطريقة ما، على تلك الدول القليلة التي تنتج مثل هذه الأسلحة بكميات كبيرة، بل أصبحت محاولة إثارة الحرب على نطاق واسع عبر هذه الأسلحة يعد نوعًا من الانتحار العبثي، وعلى هذا كثيرًا ما نسمع عن رأي متفائل بأن تلك الحرب قد عفا عليها الزمن، وأنها لن تحدث مرة أخرى، إنها للإسف وجهة نظر متفائلة، وتبسيط مخل بدرجة كبيرة، بل على العكس إن عبثية الحرب بالأسلحة النووية ربما، في أول تقرير تقريبي، تكون بمثابة حافز على الحروب على نطاق أصغر، فإذا ما اقتنعت أمة أو مجموعة سياسية بحقها التاريخي أو الأخلاقي لفرض بعض التغيير على الوضع الراهن، ستشعر أن استخدام الأسلحة التقليدية لهذا الغرض، لن ينضوى على أية مخاطر كبيرة، سنفترض أن الطرف الآخر لن يلجأ بالتأكيد إلى الأسلحة النووية، ذلك لأن الطرف الآخر المخطئ، تاريخيًا وأخلاقيًا فيما يتعلق بهذا الشأن، لن يجرؤ على إشعال الحرب على نطاق واسع، من شأن هذا الوضع أن يحث بدوره الأمم الأخرى على الإعلان أنها إذا ما اضطرت للدخول في الحروب الصغيرة التى تُفرض عليها من قبل المعتدين، فإنها ستلجأ، في حقيقة الأمر، إلى الأسلحة النووية، وبالتالي فإن الخطر ما زال ماثلا بوضوح. من الممكن تماما خلال الأعوام العشرين أو الثلاثين القادمة أن يشهد العالم تغيرات كبيرة للغاية تقلص إلى حد كبير أو تمنع خطر الحرب على نطاق واسع، وتطبيق جميع الموارد التقنية لإبادة الخصم، لكن الطريق إلى هذا الوضع الجديد به الكثير من المخاطر، ولا بد من أن ندرك، كما أدركنا في كل المرات السابقة، أن ما يبدو حقًا تاريخيًا وأخلاقيًا لجانب، قد يبدو باطلاً للجانب الآخر، ولن يكون استمرار الوضع الراهن على ما هو عليه هو دائما حلاً صحيحًا، على العكس من ذلك فقد يكون من المهم إيجاد وسائل سلمية لإيجاد تسويات

للأوضاع الجديدة، ويكون من الصعب في كثير من الحالات العثور على أي قرار عادل للجميع، لذا فربما يكون من التشاؤم أن نقول إننا لا نستطيع تجنب الحروب الكبيرة إذا كانت كافة الجماعات السياسية المختلفة على استعداد للتخلي عن بعض ما يبدو لهم بأنها حقوق واضحة في ضوء حقيقة أن مشكلة الحق والباطل قد تبدو مختلفة بشكل جوهري لدى الطرف الآخر. إن هذه الوجهة من النظر ليست جديدة بالتأكيد، بل هى في حقيقة الأمر تطبيق لذلك الاتجاه الإنسانى الذى تعلمناه من قبل بعض الأديان الكبرى منذ قرون عديدة.

وقد أثار اختراع الأسلحة النووية أيضا مشاكل جديدة تماما للعلم والعلماء، وأصبح التأثير السياسى للعلم أقوى كثيرًا مما كان عليه قبل الحرب العالمية الثانية، وهذه الحقيقة أثقلت كاهل العلماء ولا سيما عالم الفيزياء الذرية الذى يتحمل مسؤولية مزدوجة، فهو إما أن يساهم بدور نشط في إدارة البلد بشأن أهمية العلم بالنسبة للمجتمع، وهنا سيواجه في نهاية المطاف مسؤولية اتخاذ القرارات التي لها وزنها الهائل والتي تسير إلى أبعد من دائرة البحث الضيقة والعمل الجامعي الذي تعود عليه أو أن ينسحب طوعًا عن أية مشاركة في القرارات السياسية، ثم إنه سيظل مسؤولا عن القرارات الخاطئة التي كان في مقدوره أن يحول دونها لو لم يفضل حياة العالم الهادئة. من الواضح أن واجب العلماء أن يعملوا على إبلاغ حكوماتهم بالتفصيل عن الدمار الذي لم يسبق له مثيل الذي سيحل إذا نشبت حرب بالأسلحة النووية، ولأبعد من ذلك، فإن العلماء كثير ما يطلب منهم المشاركة في وضع قرارات رسمية من أجل السلام العالمي، لكن فيما يتعلق بهذا الطلب الأخير أعترف بأننى لم أكن قادرًا على رؤية أي معنى من تصريحات من هذا القبيل، قد تبدو هذه القرارات دليلا على حسن النية، لكن كل من يتحدث عن السلام دون الحديث عن شروط هذا السلام لا بد من أن نتشكك في أنه يعني فقط ذلك النوع من السلام الذي يحقق ازدهارًا له ولجماعته، وهذا بالطبع سيكون بلا جدوى تمامًا؛ لأن

أى إعلان مخلص للسلام لا بد من أن يحدد التضحيات التي يستعد أصحابها للقيام بها من أجل الحفاظ على السلام، ولكن ليس لدى العلماء كقاعدة أية سلطة للإدلاء بأية عبارات من هذا القبيل.

يمكن للعالِم في الوقت ذاته أن يبذل قصارى جهده لتعزيز التعاون الدولي في مجال اختصاصه. وإن الحكومات، فى أيامنا هذه تولى اهتمامًا كبيرًا للبحث فى الفيزياء النووية. وحقيقة أن مستوى العمل العلمى لا يزال مختلفا للغاية بين دول مختلفة تحفز على التعاون الدولي في هذا المجال وقد تجمع شباب العلماء من الدول المختلفة في مؤسسات بحثية لها نشاط قوي في مجال الفيزياء الحديثة، عندئذ يتم تعزيز العمل المشترك في المشاكل العلمية الصعبة والتفاهم المتبادل. ثمة حالة قد حدثت في منظمة جينيف أمكن فيها التوصل إلى اتفاق بين عدد من الدول المختلفة لتشييد معمل مشترك ولبناء جهاز تجريبي باهظ الثمن للبحث في مجال الفيزياء النووية. سيساعد هذا النوع من التعاون بالتأكيد على بناء موقف مشترك تجاه مشكلات العلم، ومشترك حتى لما وراء المشكلات العلمية الخالصة بين جيل الشباب من العلماء. بطبيعة الحال لا أحد يعرف مسبقًا ما الذي سينمو عن البذور التي تم بذرها بهذه الطريقة عندما يعود العلماء إلى بيئاتهم الأصلية مرة أخرى، ويشاركون في تقاليدهم الثقافية الخاصة، ولكن لا أحد يشك في أن تبادل الأفكار بين شباب العلماء من مختلف البلدان والأجيال المختلفة في كل بلد سيساعد على الوصول، دون الكثير من التوتر، إلى توازن بين القوى التقليدية القديمة والضرورات الحتمية الحديثة. ثمة سمة واحدة للعلم بوجه خاص يجعله ملائما أكثر من أي شيء آخر لإقامة أول علاقة قوية بين التقاليد الثقافية المختلفة وهذه حقيقة حيث إن القرارت النهائية حول قيمة عمل علمي خاص، حول ما هو صحيح أو خطأ في هذا العمل، لا يتوقف على سلطة الإنسان، فقد يستغرق الأمر عدة سنوات أحيانا قبل أن نعرف حل المشكلة، وقبل أن نتمكن من التمييز بين

الصواب والخطأ ولكننا نستطيع في نهاية المطاف أن نتخذ قـرارا فيمـا يتعلـق بالمشكلة. هذه القرارت من صنع الطبيعة ذاتها لا من صنع جماعة من العلمـاء، لذا فإن الأفكار العلمية تنتشر بين المهتمين في مجال العلوم بطريقة مختلفة عـن طريقة انتشار الأفكار السياسية.

في حين أن الأفكار السياسية تكتسب نفوذا مقنعا بين الجماهير الغفيرة مـن الناس لمجرد أنها تتوافق، أو يبدو ذلك، مع المـصالح الـسائدة لـدى الجمـاهير، في حين أن انتشار الأفكار العلمية فقط لكونها صحيحة. إن ثمة معايير موضوعية تؤكد صحة عبارة علمية ما.

إن كل ما قيل هنا عن التعاون الدولي وتبادل الأفكار ينطبق، بطبيعة الحال، على أي فرع من فروع العلم الحديث فهو غير مقصور بالتأكيـد علـى الفيزيـاء الذرية. فالفيزياء الحديثة في هذا الصدد مجرد فرع من فروع عديدة مـن العلـم؛ وحتى لو كانت تطبيقاتها التقنية تضفى وزنا خاصـا لهـذا الفـرع - كالأسـلحة والاستخدام السلمى للطاقة الذرية - فليس ثمة سبب للنظر في أن للتعاون الـدولي في هذا المجال أهمية تفوق أي مجال آخر، لكن علينا مرة أخرى أن ننـاقش تلـك السمات التي تميز الفيزياء الحديثة والتي تختلف جوهريا عن التطور السابق للعلوم الطبيعية، وعلينا أن نعود مرة أخرى إلى التاريخ الأوروبي لهـذا التطـور الـذي تمخض عن المزج بين العلوم الطبيعية والتقنية.

لقد كانت ثمة مناقشات عديدة بين المؤرخين حول نشأة العلوم الطبيعية بعـد القرن السادس عشر، حيث كانت هذه النشأة نتيجة طبيعية لما سبقها من اتجاهـات في الفكر الإنسانى، ويمكن القول إنه قد تمخض عن بعض الاتجاهات المحددة فـي الفلسفة المسيحية - مفهوم تجريدى للغاية الإلهية، لقد وضعوا الإله مفارقـا للعـالم بحيث إذا بدأ المرء في النظر للعالم فإنه لا يرى، في الوقت ذاته، الإله في العـالم، ويمكن أن نطلق على الثنائية الديكارتية الخطوة الأخيرة في هذا التطور، ويمكن أن

نشير أيضا إلى أن الخلافات اللاهوتية في القرن السادس عشر التي أدت إلى سخط عام فيما يتعلق بالمشكلات التي لم تحسم عن طريق العقل وتعرضت لصراعات سياسية في ذلك الوقت، هذا السخط قد وجه الانتباه إلى المشكلات التي كانت بمعزل عن الجدل اللاهوتي تماما، أو ربما كان لنا أن نشير ببساطة إلى هذا النشاط الهائل والروح الجديدة التي ظهرت في المجتمعات الأوروبية خلال عصر النهضة.

على أية حال، ظهرت خلال تلك الفترة سلطة جديدة مستقلة تماما عن الدين أو الفلسفة المسيحية والكنيسة، إنها سلطة الخبرة، سلطة الواقعية التجريبية، ويمكن أن نتتبع هذه السلطة بالعودة مرة أخرى إلى الاتجاهات الفلسفية القديمة في فلسفة أوكام، ودنيس سكوتس على سبيل المثال، لأنها لم تصبح قوة حيوية من النشاط الإنساني إلا ابتداء من القرن السادس عشر، ولم يفكر جاليليو فقط في الحركات الميكانيكية في البندول والحجر الساقط، بل حاول بالتجارب، من الناحية الكمية، أن يتعرف كيف تحدث هذه الحركات. لم يكن هذا النشاط الجديد في بدايته يعني بالتأكيد انحرافا عن الدين المسيحي التقليدي، بل على العكس، فقد كان بالإمكان الحديث عن نوعين من الوحي الإلهي: الأول نجده مكتوبا في الكتاب المقدس، والآخر نجده في كتاب الطبيعة، ولما كان الإنسان هو الذي كتب الكتاب المقدس فقد كان عرضة للخطأ، في حين أن الطبيعة كانت هي التعبير المباشر عن المقصد الإلهي.

ومع ذلك فقد ارتبط التأكيد على الخبرة بتغير بطيء وتدريجي في مظهر من مظاهر الواقع، فما نطلق عليه في أيامنا هذه المعنى الرمزي للشيء، كان يسمى في العصور الوسطى، بشكل ما، واقعا أوليا للشيء، لقد تغير مظهر من مظاهر الواقع نحو ما يمكن أن ندركه بحواسنا، فما يمكن أن نراه ونلمسه أصبح واقعًا أوليًا، ومن الممكن أن نرى هذا المفهوم الجديد للواقع مع هذا النشاط الجديد، حيث أصبح بإمكاننا إجراء تجربة نرى من خلالها كيف نرى واقع الأشياء. من السهولة بمكان، أن نرى أن هذا الموقف الجديد يعني تحول العقل

الإنساني إلى مجال هائل من الإمكانيات الجديدة، وهذا يجعلنا نفهم جيدا كيف نظرت الكنيسة إلى هذه الحركة الجديدة بوصفها خطرا لا أملا، وتمثل المحاكمة الشهيرة لجاليليو، بسبب وجهات نظره من النظام الكوبرنيقى، بداية صراع استمر لأكثر من قرن من الزمان، في هذا الجدل كان بإمكان ممثلي العلوم الطبيعية أن يقدموا حجة تقول بأن التجربة تقدم حقيقة لا تقبل جدلا، وأنه لا يمكن لأى سلطة بشرية أن تقرر ما يحدث بالفعل في الطبيعة، فالقرار هنا قرار الطبيعة أو بهذا المعنى، هو قرار الإله، أما ممثلو الدين التقليدى فقد قدموا، من جهة أخرى، حجة تقول إن توجيه جل الاهتمام إلى العالم المادي وإلى ما ندركه بحواسنا، يجعلنا نفقد العلاقة بين الفهم الجوهرية للحياة الإنسانية وذلك الجزء الواقعي القابع فيما وراء العالم المادي، لا توجد أية نقطة التقاء بين هاتين الحجتين، وبالتالي لا يمكن تسوية هذه المشكلة عن طريق اتفاق ما أو قرار.

في غضون ذلك شرعت العلوم الطبيعية في الوصول إلى صورة أكثر وضوحا وتوسعا للعالم المادي، كانت هذه الصورة توصف في الفيزياء باستخدام تلك المفاهيم التي نطلق عليها في وقتنا الحاضر مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية، فالعالم يتألف من أشياء في المكان والزمان، هذه الأشياء تتألف من مادة تنتج عن قوى تتأثر بها، تنجم الوقائع تباعا عن التفاعل بين المادة والقوى، فكل واقعة هي نتيجة وسبب لوقائع أخرى، في الوقت ذاته، تغير اتجاه الإنسان إزاء الطبيعة من موقف تأملي إلى موقف نفعي (براجماتي)، فنحن لا نهتم بالطبيعة كما هي بقدر ما نتساءل عما يمكن أن نفعله بها، لذا تحولت الطبيعة إلى علوم تقنية ذاتية. ارتبط كل تقدم في المعرفة بسؤال عن الاستخدام العملي الذي يمكن أن نستمده منها، هذا لم يكن صحيحًا في الفيزياء فحسب بل كان الوضع مشابهًا في الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا، وقد ساهم نجاح هذه المناهج الجديدة في الطب أو في الزراعة مساهمة جوهرية في الترويج للاتجاهات الجديدة.

بهذه الطريقة طور القرن التاسع عشر في نهاية المطاف إطارا للعلوم الطبيعية غاية في الجمود، هذا الإطار لم يشكل العلم فقط، بل شكل أيضا النظرة العامة لجماهير غفيرة من الناس. دعمت المفاهيم الأساسية للفيزياء الكلاسيكية هذا الإطار من خلال المكان والزمان والمادة والسببية، وكان مفهوم الواقع ينطبق على الأشياء والوقائع التي يمكن إدراكها بحواسنا أو التي يمكن ملاحظتها بأدوات تقنية أمدتنا بها العلوم. كانت المادة تمثل واقعًا أوليا، وقد تم تصوير تقدم العلم على أنه حملة صليبية لغزو العالم المادي وكانت النفعية هي كلمة السر في ذلك الوقت.

ومن جهة أخرى كان هذا الإطار ضيقا للغاية وجامدا حتى ليصعب العثور فيه على مكان لمفاهيم كثيرة تنتمي دومًا إلى جوهر اللغة ذاتها، مثل مفاهيم العقل والنفس البشرية أو الحياة. لقد تم تقديم العقل بصورة عامة باعتباره مرآة للعالم المادى، وعندما ندرس خصائص هذه المرآة في علم النفس، فإن العلماء غالبا، إذا جاز لنا عقد هذه المقارنة، يبدون مزيدا من الاهتمام بالخصائص الميكانيكية لا البصرية، ولقد حاولوا تطبيق مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية، خاصة مفهوم السببية في المقام الأول بالطريقة نفسها، كان من المقرر تفسير الحياة على أنها عملية فيزيائية وكيميائية محكومة بقوانين طبيعية وتحددها بشكل كامل السببية، قدم مفهوم داروين في التطور دليلاً وافرًا لهذا التفسير، وكان من الصعوبة بمكان أن نجد في هذا الإطار مكانا لتلك الأجزاء من الواقع التي كانت موضوعا للدين التقليدي والتي بدت الآن مجرد خيال زاد أو قل، لذا فقد صار عداء صريح لهذا العلم في تلك الدول الأوروبية التي كانت قد تعودت على متابعة الأفكار حتى نتائجها، وحتى في بلدان أخرى كان ثمة اتجاه متزايد نحو اللامبالاة تجاه هذه المشكلات، ولم يستثن من هذا الاتجاه سوى القيم الأخلاقية للدين المسيحي – على الأقل في ذلك الوقت – كانت الثقة في المنهج العلمي وفي التفكير العقلاني قد حلت محل سائر الضمانات الأخرى للعقل البشري.

فإذا ما عدنا الآن إلى مساهمات الفيزياء الحديثة، فقد يقول قائل إن أهم تغير قد أحدثته نتائج الفيزياء الحديثة هو القضاء على هذا الإطار الجامد من مفاهيم القرن التاسع عشر، بطبيعة الحال كان ثمة محاولات عديدة قد بذلت من قبل للتخلص من هذا الإطار الجامد الذي بدا ضيقا للغاية لفهم الأجزاء الجوهرية من الواقع، ولكن لم يكن ممكنا أن نعرف خطأ المفاهيم الجوهرية من قبيل المادة والمكان والزمان والسببية التي نجحت تماما على طول تاريخ العلم. كان البحث التجريبي ذاته وحده الذى يمثل كل الأدوات المنقحة التي أمكن للعلم التقني تقديمها، وتفسيره الرياضياتى الذى قدم أساسا للتحليل النقدي، أو كما يقال فرض التحليل النقدي بالقوة على هذه المفاهيم، وقد أدى هذا في نهاية المطاف إلى انهيار هذا الإطار الجامد.

هذا الانهيار تم على مرحلتين منفصلتين، كانت المرحلة الأولى من خلال نظرية النسبية، وهي اكتشاف أن مفاهيم أساسية مثل المكان والزمان يمكن أن تتغير، وينبغي، في حقيقة الأمر، أن تتغير بسبب الخبرة الجديدة، هذا التغيير لم يكن يتعلق بمفهومي المكان والزمان الغامضين إلى حد ما في اللغة الطبيعية الدارجة، بل تعلق هذا التغيير بصياغتهما الدقيقة في اللغة العلمية للميكانيكا النيوتونية التي تم اعتبار قبولها في النهاية ضربا من الخطأ، أم المرحلة الثانية فكانت مناقشة مفهوم المادة الذى فرضته النتائج التجريبية الخاصة بالتركيب الذرى، ربما كانت فكرة واقعية المادة أقوى جزء في هذا الإطار الجامد من مفاهيم القرن التاسع عشر، تم تعديل هذه الفكرة على الأقل لتدخل في علاقة مع الخبرة الجديدة، مرة أخرى بقيت هذه المفاهيم بعيدة إلى حد ما عن اللغة الطبيعية الدارجة، لم يكن ثمة صعوبة في الحديث عن المادة أو عن الوقائع أو عن الواقع عند وصف التجارب الذرية ونتائجها، إلا إن الاستقراء العلمي لهذه المفاهيم، في أصغر أجزاء المادة، لا يمكن أن يتم بالطريقة البسيطة التي افترضتها الفيزياء الكلاسيكية، رغم أن هذه الطريقة قد حددت خطأ النظرة العامة لمشكلة المادة.

كانت هذه النتائج الجديدة تبدو لأول وهلة بمثابة تحديد خطير ضد التطبيقات القسرية للمفاهيم العلمية في مجالات لا تنتمي إليها، فتطبيق مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية في الكيمياء مثلا كان خطأ، لذا فإننا لا نميل بالتأكيد في وقتنا الحاضر، إلى أن نفترض تطبيق مفاهيم الفيزياء، حتى مفاهيم نظرية الكم، في مجال البيولوجيا أو غيرها من العلوم، على العكس من ذلك، سنحاول أن نبقى على الأبواب مفتوحة لدخول مفاهيم جديدة حتى في تلك الفروع من العلم التي قدمت فيها المفاهيم القديمة أشياء مفيدة للغاية في فهم الظواهر، ولا سيما في تلك النقاط التي كان يبدو فيها تطبيق هذه المفاهيم غير كافٍ تماما لحل المشكلة التي نحاول تجنب أى استنتاجات متسرعة فيها.

علاوة على ذلك، فإن أهم ملمح من ملامح تطور وتحليل الفيزياء الحديثة هو هذه الخبرة بأن مفاهيم اللغة الطبيعية الدارجة على ما بها من غموض في التعريف، تبدو أكثر ثباتا عند اتساع المعرفة مقارنة بالمصطلحات الدقيقة للغة العالمية بوصفها صورة مثالية مشتقة من مجموعة محدودة من الظواهر، وهذا في حقيقة الأمر ليس مستغربا؛ لأن مفاهيم اللغة الطبيعية الدارجة إنما تتشكل عبر الاتصال المباشر مع الواقع، بل هى الواقع ذاته. صحيح أنها ليست محددة بشكل جيد، ومن ثم ربما يطرأ عليها تغيير مع الزمن، تمامًا مثل الواقع ذاته، ولكنها لم تفقد البتة علاقتها المباشرة مع الواقع. من ناحية أخرى فإن المفاهيم العلمية هي مفاهيم مثالية، فهي مشتقة من الخبرة التي نتوصل إليها من خلال أدوات تجريبية دقيقة وهي محددة بدقة من خلال البديهات والتعريفات. يمكن الربط من خلال هذه التعريفات الدقيقة بين مفاهيم النظام الرياضياتى وأن تشتق رياضيا طائفة لا حصر لها من الظواهر الممكنة في هذا المجال، ولكننا من خلال هذه العملية المثالية والتعريف الدقيق نعقد الصلة المباشرة مع الواقع، فالمفاهيم ما زالت متطابقة بشكل وثيق للغاية مع الواقع في جزء من الطبيعة التي أصبحت موضوعًا للبحث. إلا إن هذا التطابق ربما نفقده في أجزاء أخرى تشتمل على مجموعات أخرى من الظواهر.

فإذا ما أخذنا بعين الاعتبار هذا الثبات المتأصل لمفاهيم اللغة الطبيعية الدارجة في عملية التطور العلمي فسنرى - بعد خبرة الفيزياء الحديثة – أن موقعنا تجاه مفاهيم من قبيل العقل والنفس الإنسانية أو الحياة أو الإله سيكون مختلفا عن موقف القرن التاسع عشر، لأن هذه المفاهيم تنتمي إلى اللغة الطبيعية الدارجة ولها علاقتها المباشرة بالواقع، صحيح أننا سندرك أيضا أن هذه المفاهيم ليست محددة تماما بالمعنى العلمي وأن تطبيقها قد يؤدي إلى تناقضات متباينة، ولكن نحن مضطرون في الوقت الحاضر إلى الأخذ بهذه المفاهيم كما هي دون تحليل، ولكن ما زلنا نعرف أن هذه المفاهيم تلمس الواقع وسيكون من المفيد في هذا الصدد أن نتذكر أنه حتى في أكثر الأجزاء دقة في العلم، أعني الرياضيات، لا يمكن تجنب استخدام المفاهيم التي تنطوي على تناقضات، فمثلا من المعروف أن مفهوم اللانهائي يؤدي إلى تناقضات تم تحليلها، ولكن من المستحيل عمليا أن نشيد أجزاء رئيسية من الرياضيات دون هذا المفهوم.

كان الاتجاه العام للفكر البشري في القرن التاسع عشر يتجه نحو زيادة الثقة في المنهج العلمي ومصطلحات العقلانية الدقيقة، كما أدى هذا الاتجاه إلى نزعة شكية عامة فيما يتعلق بمفاهيم اللغة الطبيعية الدارجة التي لا تتلائم مع الإطار المغلق للتفكير العلمي، بخاصة مفاهيم الدين، لقد تسببت الفيزياء الحديثة، بطرق كثيرة، في زيادة هذه النزعة الشكية، لكنها في الوقت ذاته حولت هذه النزعة ضد المغالاة في تقدير المفاهيم العلمية الدقيقة وضد وجهة النظر المغالية في التفاؤل بشأن التقدم بوجه عام، وأخيرًا ضد النزعة الشكية ذاتها.

لا تعني النزعة الشكية ضد المفاهيم العلمية الدقيقة أن ثمة حدًا معينا لتطبيق التفكير العقلاني، بل على العكس من ذلك، فربما جاز لنا القول إن قدرة الإنسان على الفهم غير محدودة إلى حد ما، غير أن المفاهيم العلمية الموجودة لا تغطي سوى جزء محدود للغاية من الواقع، أما الجزء الآخر الذي لم يتم فهمه فهو مفهوم

اللانهائي. فإذا ما انطلقنا من الشيء المعروف إلى المجهول فإننا نأمل أن نفهم، لكن قد يتعين علينا أن نتعلم، في الوقت ذاته، معنى جديدا لكلمة "فهم". فمعلوم لدينا أن أي فهم يستند بشكل نهائي على اللغة الطبيعية الدارجة لأنها الوحيدة، فقط، التي تمكننا من أن نلمس الواقع، وبالتالي يجب أن نتشكك في أي نزعة شكية فيما يتعلق بهذه اللغة الطبيعية الدارجة ومفاهيمها الأساسية، ومن ثم قد نستخدم هذه المفاهيم كما كانت تستخدم طوال الوقت. ربما فتحت الفيزياء الحديثة بهذه الطريقة الباب لآفاق أوسع من العلاقة بين العقل الإنساني والواقع.

توغل العلم الحديث إذن في عصرنا هذا إلى أجزاء أخرى من العالم، حيث التقاليد الثقافية تختلف تماما عن الحضارة الأوروبية. فكان لا بد من أن يظهر تأثير هذا النشاط الجديد في العلوم الطبيعية والتقنية بشكل أقوى مما كانت عليه في أوروبا، لأن المتغيرات التي طرأت على ظروف الحياة التي استغرقت في أوروبا قرنين أو ثلاثة سيتم هناك في غضون بضعة عقود، وعلينا أن نتوقع هذا النشاط الجديد في أماكن كثيرة مثل تراجع للثقافة الأقدم ومثل موقف بربري قاس يزعزع التوازن الحسي الذي ترتكز عليه كل سعادة إنسانية. لا يمكن تجنب مثل هذه النتائج، ولا بد من أن تؤخذ على أنها مظهر من مظاهر عصرنا، ولكن حتى انفتاح الفيزياء الحديثة ربما يساعد، إلى حد ما، في التوفيق بين التقاليد القديمة والاتجاهات الفكرية الجديدة. فما قامت به اليابان، على سبيل المثال، من إسهام علمي كبير في الفيزياء النظرية منذ الحرب الأخيرة، قد يكون مؤشرا على وجود علاقة ما بين الأفكار الفلسفية وتراث الشرق الأقصى والجوهر الفلسفي لنظرية الكم. قد يكون من الأيسر أن يتكيف المرء مع مفهوم الواقع الكمومي النظري إذا لم ننخرط في طريقة التفكير المادي الساذجة التي كانت تسود أوروبا خلال العقود الأولى من القرن العشرين.

ينبغي، بطبيعة الحال، ألا يساء فهم هذه الملاحظات فنعتبرها بمثابة استخفاف من الدمار الذي تم أو يمكن أن يتم للتقاليد الثقافية القديمة إثر هذا التقدم

التقني. لكن لما كان هذا التطور برمته قد تجاوز منذ زمن بعيد سيطرة القوى البشرية، فعلينا أن نقبله باعتباره أحد السمات الجوهرية لعصرنا، وعلينا أن نحاول أن نربطه، إلى أقصى حد ممكن، بالقيم الإنسانية التي كانت دائما هدفا للتقاليد القديمة، الثقافية والدينية. قد يسمح لي في هذه النقطة أن أقتبس قصة من الصوفية اليهودية: كان هناك حاخام كهلا اشتهر بحكمته يأتي إليه الناس لطلب المشورة، ذات مرة قام بزيارته رجل أصابه اليأس من التغيرات التي تحدث من حوله، وأخذ يعرب عن استيائه من الضرر الذي لحق به جراء ما يسمى بالتقدم التقني، صاح هذا الرجل: هل كل هذه التقنيات مزعجة وعديمة الفائدة، إذا ما أخذنا في الاعتبار القيم الحقيقية للحياة؟ أجاب الحاخام: قد يكون الأمر كذلك، لكن إذا كان لديك موقف صحيح عندئذ ستتمكن من التعلم من كل شيء.. فرد الرجل الزائر.. كلا، من الحماقة أن نتعلم شيئا على الإطلاق من قطار السكة الحديد أو الهاتف أو التلغراف... أجاب الحاخام أنت مخطئ، يمكن أن نتعلم من قطار السكة الحديد أنك قد تفقد كل شيء بسبب لحظة تأخير واحدة، ويمكن أن تتعلم من التلغراف أن لكل كلمة ثمنها، ويمكن أن تتعلم من الهاتف أن ما تقوله هنا يمكن أن تستمع إليه هناك... فهم الرجل الزائر ما يعنيه الحاخام وانصرف.

لقد تغلغل العلم الحديث أخيرًا في تلك المناطق الواسعة من عالمنا الذى نشأت فيه المذاهب الجديدة منذ بضعة قرون مضت باعتبارها أساسا لمجتمعات جديدة قوية، يواجه العلم الحديث محتوى هذه المذاهب – التي تعود إلى الأفكار الفلسفية الأوروبية في القرن التاسع عشر (هيجل وماركس) كما يواجه أيضا ظاهرة العقيدة بسبب تطبيقاتها العملية، فمن الصعوبة بمكان لمن يفهم الفيزياء الحديثة حق الفهم ودلالتها الفلسفية أن يتجنب الشعور بمدى هزل هذه المذاهب، لذا فقد يحدث عند هذه النقطة تفاعل بين العلم والاتجاه العام للفكر، وبطبيعة الحال لا ينبغى أن نبالغ في تأثير العلم، غير أن انفتاح العلم الحديث قد يسر الأمر لمجموعة

كبيرة من الناس حتى ينظروا إلى المذاهب على أنهـا ليـست بالأهميـة بالنـسبة للمجتمع كما كان يفترض من قبل، بهذه الطريقة فإن تأثير العلم الحديث قد يفـضل موقفا متسامحًا، وهو ما ثبت نفعه.

ومن جهة أخرى، فإن ظاهرة العقيدة المتزمتة تحمل وزنا أكبر بكثير مـن بعض المفاهيم الفلسفية الخاصة بالقرن التاسع عشر، ولا يمكننا أن تغض الطرف عن حقيقة أنه من النادر أن تكون لدى الغالبية العظمى من النـاس أيـة أحكـام واضحة تتعلق بصحة بعض الأفكار أو المذاهب المهمة، لذا فإن كلمة "العقيدة" لا تعني لهذه الأغلبية إدارك حقيقة الشيء، بل تفهم على أنها أساس للحياة، ويمكننا أن نفهم بسهولة هذا النوع الثانى من العقيدة الذي هو أكثر رسوخا وثباتا مقارنـة بالعقيدة الأولى، حيث يمكن أن يستمر حتى ضد التناقض في الخبرة المباشـرة، وبالتالي لا تهتز من قبل أية معرفة علمية مضافة. وقد أظهـر تـاريخ العقـدين الماضيين أمثلة كثيرة على تأييد البعض لهذا النوع الثاني من العقيدة، لدرجة تبدو منافية للعقل تمامًا، وهذا الموقف ينتهي فقط بموت المؤمن بهذه العقيدة. ويعلمنـا العلم والتاريخ أن هذا النوع من الاعتقاد قد يصبح خطرًا كبيرًا علـى معتنيقيـه، لكن مثل هذه المعرفة لا يجدي نفعًا لأننا غير قادرين على رؤية كيفيـة تجنـب ذلك، وبالتالي كانت هذه العقيدة غالبا ما تنتمي إلى القوى الكبرى فـي التـاريخ البشري، ومن خلال النظر في التقليد العلمي للقرن التاسع عشر قد نميل بطبيعـة الحال إلى الأمل في أن تستند كل عقيدة على تحليل عقلاني لكـل حجـة وعلـى دراسة متأنية، بل من الواجب ألا يوجد هذا النوع الثاني من العقيدة الذي يتم فيـه الأخذ بحقيقة ما، سواء كانت واقعية أو ظاهرية أساسًا للحياة. صحيح أن المناقشة الحذرة المتأنية المستندة على الحجج العقلانية الخالصة يمكن أن تجنبنا العديد من الأخطاء والأخطار، لأنها تسمح لنا بإعادة التكيف مع المواقف الجديـدة، وهـذا ربما يكون شرطًا ضروريًا للحياة، ولكن إذا ما تذكرنا خبرتنا في الفيزياء الحديثة

فمن السهولة بمكان أن نرى ضرورة وجود تتام جوهري دائـم بـين المناقـشة المتأنية واتخاذ القرار. يصعب علينا في القرارات العملية الخاصـة بحياتنـا أن نعالج كل الحجج التي تمكننا من أن نحكم لصالح قرارنا أو نقيضه، ومن ثم فإننا دائما ما نسلك على أساس دليل غير كاف. حيث نتخذ القرار، في نهاية المطاف، بأن نضع جانبا الحجج – سواء فهمنا هذا القرار أو ما يظهر من خلال المزيد من المناقشة المتأنية، وبإحداث قطيعة مع مزيد من التأمل، ربما يكون القرار نتيجـة مناقشة متأنية لكنه في الوقت نفسه يعد تتام لهذه المناقشة المتأنية. إنـه يقـصي المناقشة المتأنية. حتى أكثر القرارات أهمية في الحياة يجب أن تشتمل دائما على شيء من اللاعقلانية. إن القرار في حد ذاته أمر ضروري لأننا في حاجة إلـى شيء ما نركن إليه، إلى مبدأ يوجه سلوكنا، فدون موقف ثابت تفقد كـل أفعالنـا مصداقيتها، لذا لا يمكن أن نتفادى القول بأن ثمة حقيقية واقعية وظـاهرة تمثـل أساس الحياة ولا بد من أن نعترف بهذه الحقيقة فيما يتعلق بتلك الفئات من الناس الذين اتخذوا لهم أساس يختلف عن مبدئنا.

بعد كل ما قيل عن العلم الحديث، نخلص إلى نتيجة مؤداهـا، أن الفيزيـاء الحديثة ليست سوى جزء متميز للغاية من عملية تاريخية عامة تميل نحو توحيـد وتوسيع عالمنا المعاصر، هذه العملية في حد ذاتها، تؤدي إلى تقليص تلك التوترات الثقافية والسياسية التي من شأنها خلق خطر كبير في عصرنا الحاضر، لكن هـذه العملية كانت مصحوبة بعملية أخرى تعمل في الاتجاه المعـاكس، تـتلخص هـذه العملية في أن جماهير غفيرة من الناس أصبحوا على وعي بعملية التوحيـد تلـك، والتي تؤدي إلى تحريض كل القوى في المجتمعات الثقافية القائمة، والتي تحـاول أن تضمن لقيمهم التقليدية أكبر دور ممكن في الوضع النهائي لعملية التوحيد تلـك، وبالتالي تزداد التوترات حيث ترتبط العمليتان المتنافستان مـع بعـضهما بعـضًا ارتباطًا وثيقًا، حيث إن كل تكيف في عملية التوحيد، عن طريق التقدم التقني الجديد

مثلا، سيكثف أيضا الصراع من أجل التأثير على الوضع النهائي، وبذلك يزداد عدم الاستقرار في المرحلة الانتقالية، ربما لا تلعب الفيزياء الحديثة سوى دور صغير في عملية التوحيد الخطيرة تلك، ولكن يمكن أن تساعد في توجيه نوع من التطور أكثر هدوءا وذلك في نقطتين حاسمتين: الأولى تظهر أن استخدام الأسلحة في هذه العملية يمثل كارثة، والثانية من خلال انفتاحها على المفاهيم التي تثير الأمل في تعايش العديد من التقاليد الثقافية المختلفة عند الوضع النهائي للتوحيد، وأن تضافر الجهود الإنسانية المختلفة في نوع جديد من التوازن بين الفكر والعمل، وبين النشاط والتأمل.

١٢ـ محاضرة جائزة نوبل "تطور ميكانيكا الكم"

١١ ديسمبر ١٩٣٣

ظهرت ميكانيكا الكم، التي أتحدث عنها هنا، في محتواها الصوري، من محاولة التوسع في مبدأ بور في التطابق ليصبح نهجًا رياضياتيًا متكاملاً، وذلك عبر إدخال تعديلات على مزاعمه، حيث أعد جماعة من الباحثين مجموعة من الدراسات العلمية المختلفة التي انشغلت بتحليل الصعوبات المطروحة في البنية الذرية لنظرية بور والنظرية الإشعاعية في الضوء. وقدموا وجهات نظر فيزيائية جديدة تميز ميكانيكا الكم عن الفيزياء الكلاسيكية.

اكتشف بلانك في عام ١٩٠٠، في أثناء دراسته لقانون إشعاع الجسم الأسود الذي اكتشفه، أن الظواهر الإبصارية ظواهر منفصلة تمامًا ومجهولة بالنسبة للفيزياء الكلاسيكية، والتي تم التعبير عنها بدقة فائقة بعد عدة سنوات قليلة من فرض آينشتين عن كم الضوء. لقد تم التعبير عن استحالة التوفيق بين نظرية ماكسويل والمفاهيم الإبصارية الواضحة فيما بعد في فرض كم الضوء، الأمر الذي أرغم الباحثين على استنتاج أنه يمكن فهم الظواهر الإشعاعية فقط إذا تم التنكر لتصوراتهم المباشرة. إن الحقيقة التي كشف عنها بالفعل واستخدمها كل من بلانك وآينشتين وديباى وغيرهم، هي أن عنصر الانفصال الذي تم اكتشافه في الظواهر الإشعاعية يلعب دورًا مهمًا في العمليات المادية، فقد تم التعبير عنه بشكل منهجي منظم في المسلمة الأساسية لنظرية بور في الكم، والتي أدت مع الشروط الكمية للبنية الذرية لبور – سومرفليد إلى تفسير نوعي لخصائص الذرات الكيميائية والإبصارية. إن قبول هذه المسلمات

الأساسية لنظرية الكم يتناقض بشكل صارم مع تطبيق الميكانيكا الكلاسيكية للأنظمة الذرية، والتي بدت مع ذلك على الأقل من حيث تأكيداتها النوعية، أنها لا غنى عنها لفهم خصائص الذرات. كان هذا الظرف حجة جديدة لتدعيم افتراض أن الظواهر الطبيعية في ثابت بلانك تلعب دورًا مهمًا ولا يمكن فهمها، إلى حد كبير، إلا عبر الوصف الإبصاري السابق. بدت الفيزياء الكلاسيكية حالة محدودة من التصور الميكروفيزيائي الذي لا يمكن تصوره بشكل جوهري، والذي هو قابل للتحقق بشكل دقيق عندما يتوارى ثابت بلانك بالنسبة إلى الكم الثابت في النظام. أدت وجهة نظر الميكانيكا الكلاسيكية لحالة محدودة من ميكانيكا الكم أيضًا إلى مبدأ التطابق لبور، الذي انتقل، على الأقل في الحدود النوعية، من عدد، النتائج المصاغة في الميكانيكا الكلاسيكية إلى ميكانيكا الكم. كان ثمة مناقشة أيضا كانت على صلة بمبدأ التطابق، وهي ما إذا كانت قوانين ميكانيكا الكم، من حيث المبدأ، ذات طبيعة إحصائية، هذه الإمكانية أصبحت واضحة لا سيما بعد اشتقاق آينشتين لقانون بلانك للإشعاع. كان تحليل كل من بور وكرامرز وسليز للعلاقة بين نظرية الإشعاع والنظرية الذرية قد نتج عنه، في نهاية المطاف، الموقف العلمي التالي: وفقًا للسمات الأساسية لنظرية الكم، فإن النظام الذري قادر على افتراض حالات ثابتة ومنفصلة، فضلاً عن قيم طاقة منفصلة؛ بلغة طاقة الذرة يحدث انبعاث وامتصاص الضوء عبر هذا النظام فجأة على هيئة دفعات، من جهة أخرى يتم وصف الخصائص الإبصارية للإشعاع المنبعث عبر مجال موجة ما والمرتبط بالتردد بأنه يساوي فرق الطاقة بين الحالة الأولى والنهائية للذرة من خلال العلاقة

$$E^1-E^2=h\nu$$

ففي كل حالة ثابتة لذرة ما تتطابق مع مركب كامل من القياسات التي تحدد إمكانية التحول من حالة إلى أخرى، لا توجد ثمة علاقة مباشرة بين

الإشعاع المنبعث في التصور الكلاسيكي عبر إلكترون مداري وتلك المعايير المحددة لإمكانية الانبعاث، ورغم ذلك، فإن مبدأ بور في التطابق قد ساعد المصطلح الخاص لفورييه في توسيع المسار الكلاسيكي لكي يشير إلى تحول للذرة واحتمالية التحول النوعي الدقيق مطبقًا لقوانين كمية مماثلة لقوة تلك المركبات التي قال بها فورييه. ومع ذلك، ففي الأبحاث التي قال بها فورييه، وتلك التي قام بها كل من روزفورد وبور وسمورفيلد وغيرهم، أن مقارنة الذرة بالنظام الكوكبي للإلكترون يؤدي إلى تفسير نوعي للخصائص الإبصارية والكيميائية للذرات، وعلى الرغم من ذلك، فإن الفرق الجوهري بين الطيف الذري والكلاسيكي لنظام الإلكترون يفرض الحاجة إلى التخلي عن مفهوم مسار الإلكترون والتخلي عن الوصف البصري للذرة.

إن التجارب ضرورية لتحديد مفهوم مسار الإلكترون، كما أنها تزودنا بأداة مساعدة مهمة لمراجعته. إن الإجابة الأكثر وضوحًا عن سؤال كيف يمكن ملاحظة مدار إلكترون ما في مساره داخل الذرة، أعنى هل سنستخدم ميكروسكوبا ذات قوى كبيرة على الاستبانة، لكن متى تم تسليط ضوء على هذه العينة التي تم أخذها بالميكروسكوب يتبدى لنا ضوء له طول موجي قصير للغاية. إن أول كم ضوئي يخرج من مصدر الضوء وصولاً إلى الإلكترون مرورا بعين الملاحظ، من شأنه أن يخرج الإلكترون تمامًا عن مساره وفقًا لقوانين تأثير كمبيتون. لذلك يمكن ملاحظة نقطة واحدة فقط من هذا المسار في أي وقت تجريبيًا. في هذه الحالة، هناك سياسة واضحة تجعلنا بداية نتخلى تمامًا عن مفهوم مسار الإلكترون، على الرغم من الأدلة التي قدمتها تجارب ويلسون، وقد كان هناك محاولة لاحقة للاحتفاظ بمفهوم مسار الإلكترون في ميكانيكا الكم.

إن تعيين تردد وسعة وطور كل موجات الضوء المنبعثة من الذرة في النظرية الكلاسيكية يعادل تمامًا تعيين مسار الإلكترون بها، حيث يمكن اشتقاق

مقياس المصطلح الملائم في مفكوك فورييه لمسار الإلكترون بوضوح تام من سعة وطور موجة منبعثة. يمكن اشتقاق مسار الإلكترون بشكل كامل من معرفة كل السعات والأطوار. بالمثل أيضا، يمكن اعتبار كل سعات وأطوار الإشعاع المنبعث من الذرة، من ميكانيكا الكم، على أنها وصفا كاملاً للنظام الذري، رغم أن تفسيرها لمعنى مسار الإلكترون الذي يحمل إشعاعا، هو أمر مستحيل. لهذا يتم أخذ مكان إحداثيات الإلكترون في ميكانيكا الكم عبر مجموعة معقدة من القياسات المتوافقة مع معاملات فورييه للحركة الكلاسيكية على طول المسار، ومع ذلك فإن هذه القياسات لا يمكن تصنيفها عبر طاقة حالة وعدد التذبذب التوافقي المتطابق، بل يمكن أن تشارك في حالة واحدة من حالتين مستقرتين من الذرة، ويمكن أن تكون مقياسا لاحتمالية تحول الذرة من حالة الاستقرار إلى حالة أخرى.

إن المعاملات المعقدة من هذا النوع قابلة للمقارنة مع مصفوفة مثل تلك التي توجد في الجبر الخطي. تمامًا و بالطريقة نفسها في كل مقياس للميكانيكا الكلاسيكية، فمثلاً يمكن أن نحدد كمية حركة إلكترونيات أو طاقتها لمصفوفة متطابقة في ميكانيكا الكم. لننطلق من هنا إلى ما وراء وصف الحالة التجريبية لهذه العلاقات، فمن الضروري أن نحدد المصفوفات المشاركة بشكل منتظم في القياسات المختلفة بالطريقة نفسها، حيث تشارك القياسات بوصفها قياسات مناظرة بمعادلات الحركة. في سبيل الوصول إلى أقرب تطابق ممكن بين الميكانيكا الكلاسيكية وميكانيكا الكم، علينا أن نتخذ مبدئيًا الجمع والمضاعفة لسلسلة فورييه باعتبارهما مثالين على الجمع والمضاعفة لتعقيدات نظرية الكم، يتم تمثيل إنتاج اثنين من القياسات من خلال مصفوفات تبدو أكثر طبيعية من أن يتم تمثيلها من خلال مصفوفة بالمعنى المستخدم في الجبر الخطي. وهو الافتراض الذي افترضته بالفعل صياغة كرامرز لادنبرج لنظرية التشتت.

يبدو أن هناك توافقا بسيطًا للأخذ في ميكانيكا الكم بمعادلات الحركـــة فـــي الفيزياء الكلاسيكية، معتبرين إياها مثل علاقة بين مـــصفوفتين مثـــيلا لمتغيـــرات كلاسيكية يمكن إعادة تفسير شروط كم بور- سومرفيلد في العلاقة بين مصفوفتين، جنبًا إلى جنب مع معادلات الحركة التي كانت كافية بحيـــث حـــددت بدقـــة كـــل المصفوفات، وبالتالي خصائص الذرة القابلة للملاحظة بشكل تجريبي. كان لكل من بورن وجوردان وديراك الفضل في توسيع النهج الرياضياتية المبين أعـــلاه إلـــى نظرية راسخة وصالحة للاستخدام من الناحية الرياضية، لقد لاحظ هؤلاء الباحثون أنه يمكن صياغة شروط الكم في المقام الأول بوصـــفها علاقـــات تبادليـــة بـــين مصفوفتين يمثلان كمية حركة وإحداثيات الإلكترونات، يفسر هذا المعادلات (حيث تمثل **Pr** كمية حركة المصفوفتين؛ **qr** تمثل إحداثيات المصفوفتين) :

$$prqs - qspr = \frac{h}{2\pi i}\delta rs$$

$$qrqs - qsqr = 0$$

$$prps - pspr = 0$$

$$ors = \begin{Bmatrix} iforr = s \\ 0\, forr \neq s \end{Bmatrix}$$

لقد تمكنوا عن طريق هذه العلاقات التبادلية من الكشف عن القـــوانين التـــي كانت أساسية بالنسبة للميكانيكا الكلاسيكية في ميكانيكا الكم: ثبات زمـــن الطاقـــة، كمية الحركة والتحرك الزاوي. يتحمل النهج الرياضياتي المشتق أخيـــرًا التـــشابه الصوري الشامل للنظرية الكلاسيكية، والتي تختلف ظاهريًا عبر علاقات تبادليـــة، والتي تساعد على اشتقاق معادلات الحركة من دالة هيملتون.

ومع ذلك تظهر النتائج الفيزيائية أن ثمة فروقا عميقة بين ميكانيكا الكم والميكانيكا الكلاسيكية، وهذا يفرض الحاجة إلى مناقشة التفسير الفيزيائي لميكانيكا الكم. حتى هذه اللحظة الراهنة، فإن ميكانيكا الكم تعالج الإشعاع المنبعث عبر الذرة، كما تعالج قيم الطاقة في الحالات الثابتة وقياسات أخرى تتميز بحالاتها الثابتة أيضا. إذن تستجيب النظرية مع المعطيات التجريبية المتضمنة في الطيف الذري. كل تلك الحالات تتطلب وصفا إبصاريا للواقعة التي تحدث مصادفة، على سبيل المثال عندما قام ويلسون بتفسير الصور الضوئية، لم تبدو صورية النظرية أنها تسمح بتمثيل كافٍ للحالة التجريبية لهذه العلاقات. تطورت، فيما يتعلق بهذه النقطة، الميكانيكا الموجية لشرودنجر على أساس أطروحات بروى، وقد جاء هذا بمساعدة ميكانيكا الكم.

في سياق الدراسات التي أقرها السيد شرودنجر حيث حاول أن يقنعنا أن حتمية قيم طاقة الذرة هي مشكلة قيمة خاصة كامنة يتم تحديدها عبر مشكلة قيمة الحد الفاصل في المكان الإحداثي للنظام الذري الدقيق، بعد ما أظهر شرودنجر التكافؤ الرياضياتي للميكانيكا الموجية الذي اكتشفه، مع ميكانيكا الكم، جمع بين نطاقين مختلفين من الأفكار الفيزيائية الناتجة عن التوسع غير العادي والثري لصورية نظرية الكم. أولاً، كان ثمة ميكانيكا موجية فقط جعلت المعالجة الرياضياتية للأنظمة الذرية ممكنة، ثانيًا، أدى تحليل العلاقة بين النظريتين إلى ما يعرف باسم نظرية التحول التي طورها ديراك وجوردان. إلا إنه من غير الممكن أن أناقش بالتفصيل في هذه المحاضرة القصيرة، البنية الرياضياتية لهذه النظرية، أود فقط الإشارة إلى أهميتها الفيزيائية. فمن خلال تبني هذه النظرية للمبادئ الفيزيائية لميكانيكا الكم وصوريتها الممتدة، فقد استطاعت أن تقوم بحساب الأنظمة الذرية واحتمالية حدوث الظاهرة بدقة بمصطلحات عامة تمامًا، كما يمكن التحقق منها تجريبيًا وفقًا للشروط التجريبية المعطاة. لقد بدأ تخمين الفرض في الدراسات

التي أجريت في نظرية الإشعاع، والتي تم التعبير عنها بمصطلحات دقيقة في نظرية التصادم لبور، أعنى الدالة الموجية التي تحكم احتمالية وجود جسيم دقيق، بدا هذا على أن ثمة حالة خاصة لنمط أعم من القوانين، وكان هذا نتيجة طبيعية للافتراضات الأساسية في ميكانيكا الكم. نجحت دراسات شرودنجر وجوردان وكالاين وفيجنر في تطوير مبادئ نظم الكم بقدر الإمكان، وأيضا التصور الأصلي لدى بروى المتعلق بموجات المادة القابلة للإبصار التي تحدث في مكان وزمان، وهو المفهوم الذي تمت صياغته عند تطور ميكانيكا الكم. ومع ذلك فقد بدت هذه العلاقة بين مفهوم شرودنجر والأطروحة الأصلية لدى بروى بالتأكيد أكثر مرونة عن طريق التفسير الإحصائي للميكانيكا الموجية، والتي ركزت بشكل أكثر على حقيقة أن نظرية شرودنجر تهتم بالموجات في مكان متعدد الأبعاد. قبل أن نشرع في مناقشة أهمية ميكانيكا الكم، ربما يكون من الأجدر أن نتناول، بشكل مختصر، مشكلة ما إذا كان هناك موجات مادة في مكان ثلاثي الأبعاد أم لا، حيث تم حل هذه المشكلة بالجمع بين الميكانيكا الموجية وميكانيكا الكم.

قبل تطور ميكانيكا الكم بوقت طويل، استدل باولى، من قوانين النظام الدوري للعناصر، ذلك المبدأ المعروف جيدًا وهو: تظهر حالة كم جزئية عن طريق وجود إلكترون فردي واحد فقط. وقد ثبت أنه من الممكن نقل هذا المبدأ ليكون أساس ميكانيكا الكم، وقد نتج عنه ما يبدو للوهلة الأولى مثيرا للدهشة، فمركب الكم لحالات الثبات تجعل أي نظام ذري قادر على التكيف مع الانفصالات داخل فئات محددة، بحيث إن الذرة التي تنتمي إلى فئة ما في حالة الثبات لا يمكن البتة أن تتغير إلى حالة تنتمي إلى فئة أخرى تحت أي ظرف من الظروف.

جاء في نهاية الأمر توضيحا، لا يرقى إليه الشك، من قبل دراسات كل من فيجنر وهوند، حيث تتميز كل فئة من الحالات بسمة التماثل الواضح للدالة الخاصة الكامنة التي قال بها شرودنجر والتي تتعلق بوضع إحداثيات إلكترونين،

بسبب هذه الهوية الأساسية للإلكترونات، عندما يتم تبادل إلكترونين اثنين فإن أي اضطراب خارجي يبقي الذرة دون تغيير، ولا يسبب هذا تحولات بين حالات الفئات المختلفة. يتساوى مبدأ باولي وإحصاءات فيرمن – ديراك المستمدة منه، مع الافتراض القائل: عند تبادل إلكترونين اثنين تتحقق في الطبيعة كل فئة من الحالات الثابتة عندما تتغير إشارة الدالة الخاصة الكامنة. وفقًا لديراك فإن اختيار النظام التناظري للمصطلحات لا يؤدي إلى مبدأ باولي بل إلى إحصاءات إلكترون بوس – أينشتين. توجد علاقة خاصة بين فئات الحالات الثابتة التابعة لمبدأ باولي أو إحصاءات بوس – آينشتين، ومفهوم دي بروى عن موجات المادة. يمكن علاج ظاهرة الموجة المكانية وفقًا لمبادئ نظرية الكم وذلك عن طريق تحليلها باستخدام نظرية فورييه ثم تطبيق مركب فورييه الفردي للحركة الموجية، باعتباره نظاما لديه درجة حرية، على القوانين الطبيعية لميكانيكا الكم. لقد تم التوصل إلى النتائج نفسها عند تطبيق إجراء معالجة نظرية الكم للظاهرة الموجية، هذا الإجراء الذي أثبت أنه مثمر في دراسات ديراك لنظرية الإشعاع، وموجات المادة لدى بروى، في علاج مركب جزيئات المادة ككل وفقا لميكانيكا الكم واختيار النظام المتناسق للمصطلحات. وقد تمسك كل من جوردان وكلين بأن الطريقتين متساويتان من الناحية الرياضياتية، حتى لو لم يتم رصد تفاعل الإلكترونات، حتى إذا كان مجال الطاقة الناشئة عن المكان المتصل متضمنة، مثلا، في حساب النظرية الموجية لدى بروى. إن اهتمامات شرودنجر بكمية حركة وطاقة موجات المادة الممتدة يمكن أن تتكيف مع هذه النظرية بوصفها مركب راسخ من الصورية. أظهرت دراسات جوردان وفيجنر أن تعديل علاقات التبادل الكامنة في نظرية الكم للموجات في هذه الصورية، يكافئ أن نقول إن ميكانيكا الكم تقوم على افتراض مبدأ بولي للاستبعاد.

هذه الدراسات أثبتت أن مقارنة ذرة ما مع نظام كوكبي يتألف من نواة والإلكترونيات لا يعد الصورة الإبصارية الوحيدة التي تمكننا من تصور الذر، بل على العكس من ذلك، فغير صحيح على ما يبدو أن نقارن الذرة بسحابة مشحونة؛ وأن نستخدم التطابق بالنسبة لصورية نظرية الكم عبر هذا المفهوم لاشتقاق نتائج نوعية تتعلق بسلوك الذرة، ومع ذلك، تهتم الصورية بالميكانيكا الموجية لمتابعة هذه النتائج. نعود إلى التبرير الجزئي لصورية ميكانيكا الكم وتطبيقاتها على المشكلات الفيزيائية عبر افتراضات أساسية للنظرية، وجزئيًا عبر امتدادها في نظرية التحول على أساس الميكانيكا الموجية، والمشكلة المطروحة الآن حول المغزى الواضح للنظرية بمقارنتها بالفيزياء الكلاسيكية.

لقد كان هدف البحث في الفيزياء الكلاسيكية التحقق من العمليات الموضوعية التي تحدث في المكان والزمان، والكشف عن القوانين التي تحكم تقدمها من الشروط الأولية. كانت المشكلة في الفيزياء الكلاسيكية، التي تم البحث عن حل لها، هي البرهنة على أن حدوث ظاهرة ما يتم بشكل موضوعي في مكان وزمان، كما أن الظاهرة تبدو على أنها منصاعة لقواعد عامة صاغتها الفيزياء الكلاسيكية على شكل معادلات تفاضلية، وقد تم اكتساب الطريقة التي نعرف من خلالها كل عملية وما هي الملاحظات التي ربما تؤدي إلى حتميتها التجريبية، إلا إن هذه الطريقة لم تكن مادية تماما، فضلاً عن كونها غير مادية بالنسبة لنتائج النظرية الكلاسيكية، حيث كان يتم التحقق من الملاحظات الممكنة عبر التنبؤات النظرية، ومع ذلك، فإن الوضع مع نظرية الكم مختلف تمامًا، فلا يمكن تفسير صورية ميكانيكا الكم على أنها وصفًا إبصاريًا للظاهرة التي تحدث في مكان وزمان، بحيث يظهر أن ميكانيكا الكم غير معنية، بأي حال من الأحوال، بالحتمية الموضوعية لظاهرة الزمكان، بل تستخدم صورية ميكانيكا الكم، على عكس ذلك، بحيث يمكن استنتاج نتائج تجريبية احتمالية إضافية من حتمية موقف تجريبي في

نظام ذري ما، شريطة أن النظام لا يخضع لأي اضطرابات غير تلك التي تقتضيها إجراء تجربتين. إن النتيجة الوحيدة المعروفة بشكل واضح وتم التحقق منها تجريبيا في النظام، كانت في حقيقة الأمر، هي احتمالية التوصل إلى نتيجة محدودة في النظام في التجربة الثانية التي تبين، مع ذلك، أنه يجب على كل ملاحظة أن تستنتج تغيرا منفصلا في الصورية الواصفة للعملية الذرية. وأيضا للتغير المنفصل في الظواهر المادية ذاتها. في حين يوجد في النظرية الكلاسيكية نوع من الملاحظة ليس له أي تأثير على الواقعة، أما الاضطرابات المصاحبة لكل ملاحظة للظاهرة الذرية في نظرية الكم فلها دورها الفاصل. فضلاً عن ذلك، إلى أي مدى تؤدي نتيجة ملاحظة ما، باعتبارها قانونًا فقط، إلى تأكيدات تتعلق باحتمالية نتائج معينة للملاحظات اللاحقة، أما الجزء غير القابل للتحقق بشكل جوهري في هذا الاضطراب، يجب أن يحسم بعملية لا تتناقض مع ميكانيكا الكم كما أظهر ذلك بور. بطبيعة الحال هذا الفارق بين الفيزياء الكلاسيكية والذرية يمكن فهمه عند الحديث عن الأجسام الثقيلة مثل الكواكب السيارة حول الشمس وضغط أشعة الشمس المنعكس على سطوحها والذي من الضروري ملاحظتها، كل هذا لا يكاد يذكر الحديث عن أصغر وحدات المادة بسبب كتلتها الصغيرة، فلكل ملاحظة تأثير فاصل على السلوك المادي.

إن ملاحظة اضطراب النظام الناجم عن الملاحظة عامل مهم أيضًا في تحديد الحدود التي تجعل الوصف البصري للظاهرة الذرية ممكنا. إذا كان ثمة تجارب تسمح بقياس دقيق لكل خصائص النظام الذري، فلا بد من حساب الحركة الكلاسيكية، والتي هي، على سبيل المثال، مزودة بقيم دقيقة عن موضع وسرعة كل إلكترون في النظام في وقت محدد، لا يمكن إطلاقا استخدام هذه التجارب في الصورية، لأنها بالأحرى مناقضة بشكل مباشر للصورية. لهذا بدا واضحًا للمرة الثانية أن الجزء الجوهري من اضطراب النظام غير القابل للتحقق منه، ناجم عن

القياس نفسه الذي يعرقل التحقق من دقة الخصائص الكلاسيكية ويسمح بتطبيق ميكانيكا الكم.

تُظهر الدراسة المتعمقة للصورية الدقة التي يمكن من خلالها التحقق من موضع جسيم ما ومعرفة كمية حركته بدقة في وقت واحد، ثمة علاقة إذن، بين الناتج عن الأخطاء المحتملة في قياس الموضع وكمية الحركة الثابتة، على الأقل بالمقارنة بثابت بلانك المقسم إلى π **4**. عمومًا ينبغي أن يكون لدينا هذه المعادلة :

$$\Delta p \Delta q \geq \frac{h}{4\pi}$$

حيث **p** و **q** متغيران متلازمان بشكل مقبول. لقد تم التعبير عن العلاقات اللايقينية لنتائج قياس المتغيرات الكلاسيكية بأنها من الشروط الضرورية؛ حيث تمكننا من نتيجة القياس في صورية نظرية الكم، إذ أظهر بور من خلال سلسلة من الأمثلة أن الاضطراب يرتبط بالضرورة مع كل ملاحظة تضمن بالفعل أن المرء لا يمكنه الذهاب بعيدا عن الحد الذي رسمته علاقات اللايقين الذي تم تقديمه عبر مفهوم القياس نفسه، وهو المسؤول عن جزء من تلك الاضطرابات التي تبقي غير معروفة بشكل جوهري. تتطلب الحتمية التجريبية لأحداث الزمكان إطارا ثابتًا – أو قل نظامًا من الإحداثيات التي تشعر الملاحظ باطمئنان. يشير إلى كل القياسات، وكون افتراض "ثبات" هذا الإطار يعنى تجاهل كمية حركته من البداية، فإذا كان "الثابت" لا يدل ضمنيا على أي شيء آخر، فإن أي تحول لكمية الحركة لن يؤدي إلى أي تأثير ملموس. إن اللايقين ضروري بشكل جوهري في هذه المرحلة عبر أجهزة قياس الواقعة الذرية.

إذا ما وضعنا هذه العلاقة في الاعتبار فإن هذا يحثنا على أن نأخذ بعين الاعتبار احتمالية إزالة كل اللايقينيات وذلك بأن ندمج أجهزة القياس، والملاحظ في

نسق ميكانيكي كمي واحد. من المهم أن نؤكد هنا إذا كان فعل القياس قابل للرؤية بالضرورة، فإن الفيزياء، بطبيعة الحال، هي الوحيدة المعنية بهذا الشأن لتقديم وصف منظم لعمليات الزمكان. يجب مناقشة سلوك الملاحظ وكذا جهازه للقياس وفقا لقوانين الفيزياء الكلاسيكية، حتى في عدم وجود مشكلة مادية أيا كانت. وكما أكد بور، يمكن اعتبار كل الوقائع بالمعنى المستخدم في النظرية الكلاسيكية داخل أجهزة القياس على أنها حتمية، وهذا يعد شرطًا ضروريا قبل أن يتمكن المرء، بشكل لا لبس فيه، من استنتاج ما حدث، من نتيجة القياسات. لقد تحقق أيضًا في نظرية الكم منهج الفيزياء الكلاسيكية الذي يعترض على نتائج الملاحظة بافتراض أن عمليات الزمكان تخضع لقوانين تم فرض حدودها الجوهرية عبر السمة غير القابلة للرؤية الخاصة بالوقائع الذرية التي يرمز لها بثابت بلانك. يكون الوصف المرئي للوقائع الذرية ممكنا فقط داخل حدود معينة من الدقة – إلا إن قوانين الفيزياء الكلاسيكية ما زالت مطبقة داخل هذه الحدود. علاوة على ذلك، فبسبب هذه الحدود من الدقة التي حددتها علاقات اللايقين، فإن الصورة المرئية للذرة الخالية تمامًا من أي غموض لم يتم تحديدها بعد، على عكس مفهومي الجسيم والموجة اللذان يستخدمان على أساس التفسير البصري. إن قوانين ميكانيكا الكم هي قوانين إحصائية في الأساس، رغم أن معاملات النظام الذري محددة في مجملها عبر تجربة، فإنه لا يمكن التنبؤ بنتيجة الملاحظة لهذا النظام بدقة تامة. أما الملاحظات الأخرى فمن الممكن التوصل إليها عن طريق التجربة المعطاة.

ما زالت درجة اليقين المتعلقة بقوانين ميكانيكا الكم هي المسؤولة، على سبيل المثال، عن حقيقة مبادئ حفظ الطاقة وكمية الحركة بشكل صارم، مقارنة بأي وقت مضى. ويمكن التحقق منها رغبة في أي دقة ستكون حقيقة وفقًا للدقة التي تم التحقق منها. تصبح مع ذلك السمة الإحصائية لقوانين ميكانيكا الكم واضحة عند إجراء دراسة دقيقة لشروط الطاقة التي من غير الممكن، في الوقت ذاته، أن تتبع واقعة معينة في الزمكان.

نحن مدينون لبور في التحليل الواضح للمبادئ التصورية لميكانيكا الكم الذي طبق، على وجه الخصوص، مفهوم التتام لتفسير صحة القوانين الميكانيكية للكم. تمثل علاقات اللايقين وحدها في ميكانيكا الكم مثالا على قولنا أن المعرفة الدقيقة لمتغير واحد يمكن أن يستبعد أي معرفة دقيقة أخرى، هذه العلاقة التتامية تكون بين المظاهر المختلفة للمتغير والعملية الفيزيائية نفسها التي تتميز بها مجمل بنية ميكانيكا الكم. لقد ذكرت للتو، على سبيل المثال، أن حتمية علاقات الطاقة تستبعد الوصف التفصيلي لعمليات الزمكان، وبالمثل، تكتمل دراسة الخصائص الكيميائية للجزيء بدراسة الخصائص الكيميائية له، أو ملاحظة الظواهر المتداخلة المكملة لملاحظة كم الضوء الفردي. في نهاية المطاف، يمكن الإشارة إلى مجال صحة الميكانيكا الكلاسيكية والكم من شخص إلى آخر على النحو التالي: تسعى الفيزياء الكلاسيكية جاهدة لمعرفة المزيد عن الطبيعة حيث تبحث عن نتائج تتعلق أساسا بالعمليات الموضوعية من خلال الملاحظة، كما تضع في الاعتبار التأثيرات التي تحدثها كل ملاحظة في الموضوع الملاحظ، والتي لا يمكن تجاهلها، لذلك، فإن الفيزياء الكلاسيكية لها حدودها فيما يتعلق بهذه النقطة، وهي أنه لا يمكن تجاهل تأثير الملاحظة على الواقعة، أما في المقابل تعالج ميكانيكا الكم العمليات الذرية عن طريق تحيز مسبق لوصفها للزمكان واعتبارهما موضوعيين. حتى لا أطيل في استخدام مصطلحات مجردة بشكل مفرط لتأكيد تفسير ميكانيكا الكم، أود أن أشرح بإيجاز بذكر مثال معروف جيدًا عن مدى إمكانية التوصل إلى فهم العمليات البصرية من خلال النظرية الذرية التي نهتم بها في الحياة اليومية. إن اهتمام الباحثين بظاهرة التشكل البلوري المنتظم الذي يحدث فجأة في السائل على سبيل المثال، محلول ملحي. وفقًا للنظرية الذرية فإن تشكل القوة في هذه العملية هو، إلى حد ما، امتداد لسمة التطابق لحل المعادلة الموجية لدى شرودنجر، حيث يتم تفسير هذا التبلور الممتد عن طريق النظرية الذرية، ومع ذلك، قد يقول قائل إن احتفاظ هذه العملية بالعنصرين الإحصائي والتاريخي لا يمكن اختزاله إلى أبعد من هذا

الحد، حتى في حالة معرفة حالة السائل تمامًا قبل التبلور. لا يمكن تحديد شكل البلورة عن طريق قوانين الكم. إن تكوين أشكال منتظمة يكون أكثر احتمالا بكثير من تلك الأشكال المشوهة، بيد أن الشكل النهائي يعود جزئيا إلى عنصر المصادفة التي لا تحتمل مزيدًا من التحليل من حيث المبدأ.

اسمحوا لي قبل أن أختم هذا التقرير عن ميكانيكا الكم، أن أناقش بشكل مختصر الآمال التي ربما ترافق هذا التطور لهذا الفرع من البحث. سيكون من نافلة القول أن نذكر أن التطور يجب أن يستمر على أساس الدراسات التي قام بها بروى وشرودنجر وبورن وجوردان وديراك. إن اهتمامي هنا موجه إلى الباحثين في مشكلة التوفيق بين ادعاءات النظرية النسبية الخاصة وادعاءات نظرية الكم، وهو التقدم الاستثنائي الذي احرزه ديراك في هذا المجال، وهو ما سيتحدث عنه هنا السيد ديراك. في الوقت ذاته ترك الباب مفتوحًا أمام تساؤلات ما إذا كان من الممكن تلبية ادعاءات النظريتين دون تحديد البنية الدقيقة مثل ثابت سومرفيلد. استندت كل المحاولات التي أدت إلى إنجاز صياغة نسبية لنظرية الكم على مفاهيم بصرية قريبة للغاية من تلك المفاهيم المستخدمة في الفيزياء الكلاسيكية، حيث يبدو مستحيلاً تحديد البنية الدقيقة للثابت داخل هذا النظام من المفاهيم. هذا التوسع في النسق المفاهيمي قيد المناقشة هنا، علاوة على ذلك، علينا أن نربط ذلك بتطوير نظرية الكم لمجالات الموجة، ويبدو لي أن هذه الصورية، على الرغم من دراستها من قبل عدد من الباحثين، (ديراك وبولي وجوردان وكلاين وفيجنر وفيرمي) إلا إنها لم تعالج بشكل كامل. ظهرت أيضًا مؤشرات مهمة لتطور أبعد لميكانيكا الكم من التجارب التي اشتملت على بنية النواة الذرية من خلال تحليل وسائل نظرية جامو، يظهر ما بين جسيمين أوليين للنواة الذرية قوي تعمل بشكل مختلف إلى حد ما عن القوى المحددة للتركيب الغلافي الذري؛ فضلاً عن ذلك، لا يمكن أن تمثل تجارب ستم **stem**، التي تشير إلى سلوك الجسيمات الأولية الثقيلة، صورية نظرية

ديراك في الإلكترون. إن البحث المستقبلي سيشهد مفاجآت قد تكون على خلاف ذلك، سواء في ميدان تجربة الفيزياء النووية، فضلاً عن الشعاع الكوني، إلا إن العائد من التطور في تفاصيله حتى الآن، يتبع مسار نظرية الكم التي تشير إلى فهم تلك السمات الغامضة في الفيزياء الذرية، والتي يمكن اكتسابها من خلال التصورية والموضوعية السابقة التي هي أكبر مقارنة مما هو مألوف حتى الآن. ربما لا يكون لدينا سبب لإبداء الأسف على ذلك بسبب التفكير في الصعوبات الإبستمولوجية حيث مناقشة مفهوم الفيزياء السابق عن الذرة المرئية، هذا يعطينا الأمل في تطور فيزياء ذرية أكثر تجريدا في الوقت الحاضر، وسوف يأتي اليوم لمزيد من الإصلاح الأكثر وئاما في صرح العلم العظيم.

ملحق

ـ نبذة عن الكاتب

ولد فيرنر هايزنبرج في فوركسبورج بألمانيا عام ١٩٠١. التحق بجامعة ميونخ عام ١٩٢٠، حيث كان والده، الدكتور أوجست هايزنبرج، يعمل هناك أستاذاً للغات اليونانية في العصور الوسطي والحديثة. حصل فيرنر هايزنبرج على درجة الدكتوراه في الفيزياء بعد دراسته تحت إشراف أرنولد سومرفيلد، لمدة ثلاث سنوات، ثم عمل بعد ذلك مع ماكس بورن في جوتنجن، ومع نيلزبور في كوبنهاجن. أصبح أستاذا للفيزياء بجامعة ليبزيج عام ١٩٢٧. يعتبر هايزنبرج أبا لميكانيكا الكم، حيث أظهرت دراسته " في نظرية الكم - إعادة التفسير النظري للعلاقات الحركية والميكانيكية" ضرورة مراجعة المفاهيم التي تبدو بديهية مثل الموضع والسرعة عند النظر في الحركات الداخلية للذرات. بعد مرور عامين توسع هايزنبرج في هذه الأفكار محققا شهرة فيما يتعلق بدليله القائل بأنه لا يمكن معرفة موضع وسرعة جسيمات الكم في وقت واحد. حصل هايزنبرج على جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٣٢، وعُين مديرًا لمعهد القيصر فيلهلم للفيزياء في برلين عام ١٩٤٢. وقع هايزنبرج ومجموعة من الفيزيائيين الألمان في الأسر في نهاية الحرب العالمية الثانية وتم ترحيلهم إلى إنجلترا، إلا إنه عاد عام ١٩٤٦ إلى ألمانيا وأصبح مديرا لمعهد ماكس بلانك للفيزياء الفلكية في ميونخ، حيث ظل هناك حتى تقاعده عام ١٩٧٠، توفي فيرنر هايزنبرج عام ١٩٧٦.

ـ قرار دراسة الفيزياء:

كان هناك حدا فاصلا في حياتي، فلم انتقل مباشرة من المدرسة إلى الجامعة. فبعد حصولي على الثانوية العامة قمت برحلة إلى فرانكينلاند مع مجموعة من الأصدقاء. وقد وقعت في حالة مرضية خطيرة الأمر الذي استلزم بقائي في الفراش عدة أسابيع. وفي أثناء فترة الاستجمام الطويلة، كنت حبيسا مع كتبي. في هذه الشهور الحرجة وقع في يدي كتاب جذبني إليه بشدة، ولم أكن قادرًا على استيعابه بشكل كامل، وكان الكاتب عالم الرياضيات الشهير هيرمان فايل، كان عنوان الكتاب "المكان والزمان والمادة". كان من المفترض أن يقدم هذا الكتاب تفسيرًا لنظرية النسبية لآينشتين، إلا إن صعوبة الحجج الرياضيائية والتفكير المجرد الكامن خلف هذه النظرية، أثار لدى حماسًا وإزعاجا في الوقت نفسه، فضلا عن كونه أكد لي قراري السابق بدراسة الرياضيات في جامعه ميونخ.

حدث لي في أثناء الأيام الأولى لدراستي حدثًا غريبًا ومفاجئًا، ربما يروق لي أن أتحدث عنه باختصار، فقد نظم والدي، الذي كان يعمل معلمًا للغة اليونانية في العصور الوسطي والحديثة بجامعة ميونخ، لقاءً مع فريدناند فون ليندمان، أستاذ الرياضيات، الذي اشتهر بتقديم حل للمشكلة القديمة بتربيع الدائرة، عقدت العزم على طلب السماح لي بحضور حلقاته العلمية، والتي تخيلت أنني أعددت لها من خلال دراساتي للرياضيات في وقت فراغي؛ وعندما ذهبت لزيارة هذا الرجل العظيم في مكتبه المظلم في الدور الأول ذا الطراز القديم الذي أشعرني لأول وهلة بالقمع. قبل أن أتمكن من الإعراب عن تحية الأستاذ، الذي نهض من على مقعده ببطء شديد، لاحظت وجود كلب أسود يرتعد على المكتب، فتذكرت على التو هذا الكلب ذا الشعر الكثيف في دراسة فاوست. نظر لي هذا الحيوان الصغير بعداء سافر. لقد كنت بمثابة

الدخيل غير المرحب به لأنني كنت على وشك أن أخل براحة بال سـيده، فوجئـت أنني بدأت في التلعثم وبمجرد أن تكلمت انكشح عنى الظلام، وبدات في طلـب كـان بذيء بشكل مفرط. لقد شعر ليندمان – ذلك الرجل المهذب ذا اللحية البيضاء الـذي بدا عليه الإرهاق – بالشعور نفسه الذي سعرت به، الأمر الذي سـبب لـه غـضبا، وربما كان هذا السبب الذي جعل الكلب الصغير ينبح بشكل مزعج. حاول سـيده أن يهدئ من روعه إلا إن الحيوان الصغير ازداد في النباح بشكل هستيري بحيث لم يعد ممكنا أن نسمع بعضنا بعضا، فسألني ليندمان عن الكتب التي قرأتها حديثا. فـذكرت كتاب فايل "المكان والزمان والمادة". وبينما هذا الوحش الصغير مستمرا في نباحـه، أنهى ليندمان الحوار بعبارة "في هذه الحالة أنت ضللت طريقك الى الرياضيات"، وقد كان – واضحا أن الرياضيات لم تكن لي. بعد المشاورة مع والدي انتهى بنـصيحتي أن أحاول في الفيزياء النظرية. لذلك حدد موعدا مع صديقه القديم ارنولد سـومرفيلد، رئيس كلية الفيزياء النظرية بجامعة ميونخ، ويعتبر، بوجه عام، واحدا من المعلمـين البارزين هناك. استقبلني سومرفيلد في حجرته الدراسية المضيئة ذات النوافذ المطلـة على الفناء، حيث ترى الطلاب الجالسين فوق المقاعد تحت شجرة الـسنط الكبيـرة. لأول وهلة بدا هذا الرجل قصير القامة، ذا الـشارب الأسـود، الجـسور الملامـح، بسيطا، لكن كشفت لي عباراته الأولى عن مدى خبرته واهتمامه الأصيل بالـشباب، وبخاصة مثل هذا الشاب الذي جاء ليطلب منه النصح والارشاد. دار الحـوار لأول وهلة عن الدراسات الرياضياتية التي مارستها هواية عندما كنت في المدرسة وكتاب فايل "المكان والزمان والمادة"، كان رد فعل سومرفيلد مختلفا تماما عن ليندمان. وقـد قال: "أنت طموح جدا. ولكن لا يمكن أن تبدأ بالجزء الأكثـر صـعوبة وتأمـل أن الطمأنينة ستسقط تلقائيا في كنفك. إننـي أقـدر مـدى افتتانـك بالنظريـة النـسبية والمشكلات الذرية. ولكن تذكر أن هذا ليس المجال الوحيد الذي تتحدى فيه الفيزيـاء الحديثة الاتجاهات الفلسفية الأساسية، حيث هناك أفكار تم صياغتها بطريقـة مثيـرة للغاية. وهي من الصعوبة بمكان أن نصل إليها بأكثر مما تتخيل. يجب أن تبدأ بحذر

ومثابرة في دراسة الفيزياء التقليدية. وإذا أردت دراسة العلم بوجه عام، عليك أولا أن تساءل عقلك ما إذا كان يريد الاهتمام بالبحث التجريبي أم النظري. ووفقا لما أخبرتني به، فإنك أحرص على النظرية. ولكن هل قمت بإجراء أي تجارب أو عملت على أجهزة خلال مرحلة المدرسة؟". أجبت بأنني قد اعتدت على تشييد المحركات الصغيرة واللفائف الكهربائية، ولكن لم أجد نفسي حقا في عالم الأجهزة، فقد كان الأمر في حاجة إلى قياسات لم تكن ذات أهمية بالنسبة لي، الأمر الذي أرهقني كثيرا. ولكن رغم ذلك، إذا قمت بدراسة النظرية سوف يتعين عليك أن تولى انتباها خاصا للمهام التي تبدو تافهة، حتى هؤلاء الذين يتعاملون مع القضايا الكبرى، تلك القضايا العميقة التي ترتب عليها آثارا فلسفية، مثل تلك المثارة في نظرية النسبية لآينشتين أو نظرية الكم لبلانك، يجب التعامل معها على أنها مشكلات ضخمة، وأن حل هذه المشكلات ربما يعطي لنا الأمل في الوصول إلى صورة كلية شاملة لمجالات جديدة قد تم فتحها. "حتى إنني مهتم كثيرا بالأفكار الفلسفية الكامنة أكثر من غيرها"، لقد قال ذلك سومرفيلد بخجل كبير، إلا إنه لم يكن لديه شيئا يقوله. "ولكن يجب أن تتذكر أن شيلر قد تحدث عن كانط وتفسيره". عندما تهتم الملوك بالبناء يحصل سائقي العربات على مزيد من العمل. "بداية كلنا سائقين للعربات، وسوف ترى بنفسك أنك ستصبح سعيدا عند قيامك بهذه المهام بعناية ووعي، وستحقق كما تأمل، نتائج لائقة".

قدم لي سومرفيلد إذن مزيدًا من التلميحات المتعلقة بدراساتي الأولية، وقال: ربما نصل إلى مشكلة صغيرة تتعلق بالتطورات الأولية في النظرية الذرية حتى يختبر عزيمتي. لذا قررت أن التحق بمحاضراته في الأعوام القليلة القادمة. هذا أول حوار دام تأثيره على طويلاً مع عالم عرف بحق طريقه في الفيزياء الحديثة وقدم شخصيًا اكتشافات مهمة في حقل يمس كل من نظرية النسبية والكم، كان طلبه لي أن أهتم ببعض التفاصيل الصغيرة معقولاً تمامًا – فقد سمعت هذا بما يكفي من

والدي – ولكن شعرت بالأسى في تفكيري أنني ما زلت بعيدًا عن المجال الذي أهتم به حقا. ولا عجب أن هذه المقابلة أصبحت موضوعًا للعديد من المناقشات مع أصدقائي. بعد عدة أيام، وبينما كنت أسير في القاعة التي اعتاد سومرفيلد أن يلقي فيها محاضراته، اكتشفت طالبًا في الصف الثالث ذا شعر داكن ووجه سمح، وقد قدمني له سومرفيلد في أثناء الزيارة الأولى، وأخبرني أنه مهتم بهذا الطالب ويعتبره واحدًا من أكثر تلاميذه موهبة ويمكنني أن أتعلم منه الكثير، هذا الطالب كان فولفجانج باولي، الذي لعب فيما بعد دور الصديق الحميم والناقد الشديد للغاية. جلست في المحاضرة بجوار فولفجانج، وقد طلبت استشارته بعد المحاضرة في دراساتي التمهيدية. في هذه اللحظة دخل سومرفيلد القاعة، وما إن بدأ في سرد العبارات الأولى همس فولفجانج في أذني: "ألا ترى أنه يشبه الضابط هوسار **Hussar**"، بعد انتهاء المحاضرة عدنا إلى معهد الفيزياء النظرية حيث طرحت سؤالين على فولفجانج. أود أن أعرف ما التجارب التي يتعين أي شخص مهتم بوجه خاص بالنظرية على أن يجريها، وما وجهة نظره في أهمية النظرية النسبية والذرية. أما بالنسبة للسؤال الأول فقد أجاب فولفجانج: " يعطى سومرفيلد أهمية كبيرة للدراسات التجريبية، ولكنني شخصيًا قد انصرفت عنها. إنني أبغض التعامل مع الأجهزة. أوافق تمامًا أن الفيزياء تستند على نتائج تجريبية، ولكن بمجرد الحصول على هذه النتائج، تصبح الفيزياء على الأقل الفيزياء الحديثة، موضوعًا شاقًا للغاية لمعظم الفيزيائيين التجريبيين، ويبدو أن ذلك يرجع إلى الأجهزة المتطورة للفيزياء الحديثة التي تأخذنا إلى مجالات الطبيعة التي لا يمكن وصفها بمفاهيم الحياة اليومية. نحن هنا مضطرون لتوظيف نوع من اللغة الرياضياتية المجردة، لهذا من المفترض أن يكون هناك قدرًا كبيرًا من التدريب على الرياضيات الحديثة. كانت هذه حقيقة محزنة ولكنها صحيحة، وهي: يجب أن نكون متخصصين. وجدت أن اللغة الرياضياتية المجردة تبدو بسيطة إلى حد ما، وتمنيت أن استخدمها بطريقة صحيحة في عملي. وغنى عن القول، إنني أدركت أن معرفة

الجانب التجريبي أساسي على الإطلاق. إن عالم الرياضيات البحتة، حتى لو كـان جيدًا، لا يفهم أي شيء مطلقًا عن الفيزياء ". أخبرت فولفجانج عن هـذا الحـوار الذي دار مع ليندمان وعن كلبه النابح وعن رد فعله تجاه قراءتـي لكتـاب فايـل "المكان والزمان والمادة". يبدو أن حديثي قد تسبب بشكل واضح في تسلية كبيـرة لفولفجانج. وقد قال فولفجانج: "هذا تمامًا ما كنت أتوقعه؛ ففايل لا يعرف كثيرًا عن نظرية النسبية، وأي معرفة، بالنسبة لليندمان، كافية لحرمان أي شـخص مـن أن يستحق أن يكون رياضياتيا جادًا". أما بالنسبة للأهمية الخاصة لنظريتـي النسبية والذرية، فقد قال:" إن ما نطلق عليه اليوم النظرية النسبية الخاصـة قـد انتهـت؛ ويجب أن نتعلمها ونستخدمها تمامًا مثل أية نظرية أخرى في الفيزياء؛ لذلك، لـيس لها أهمية لأي شخص مهتم بشكل خاص بالتطلع إلى اكتشافات جديدة. أما نظريـة النسبية العامة، أو ما تسمى نظرية الجاذبية لآينشتين ما زالت قيد البحث. إلا إنهـا لا تعد مرضية، فكل تجربة، سوف تعطي مئة صفحة من الاشتقاقات الرياضـياتية المعقدة. ولا يمكن لأي أحد أن يقول ما إذا كانت النظرية صحيحة أم لا. ولا يمكن أن تفتح الباب أمام احتمالات جديدة من التفكير؛ ولهذا السبب لا بد من أن نأخـذها بجدية. لقد أنهيت حديثا كتابة دراسة طويلة عن النظرية العامة؛ هذا ربمـا يكـون أحد الأسباب في اعتباري لأن تكون النظرية الذرية أكثر تشويقا.

"ما زال لدينا ثروة من النتائج غير المفسرة في الفيزياء الذرية، فـإن مـا تقره الطبيعة في موضع ما يبدو أنه يتعارض مع ما نقره في موضع آخر، لذلك من غير الممكن، حتى الآن، أن نرسم صورة متسقة، إلى حد ما، للعلاقـة بـين الموضعين. صحيح، أن نيلز بور قد نجح في الربط بين الثبات الغريب للـذرات مع فرض الكم لبلانك – والتي لم يكتمل بعد تفسيرها – والأحدث هو ما قاله بور في تقديم تفسير كيفي للجدول الدوري للعناصر وخصائصها الكيميائية. ولكن لـم أقدر على رؤية كيف فعل هذا وأرى أيضًا أنه لم يكن قادرًا على الـتخلص مـن

التناقضات التي أشرت إليها سابقا، بعبارة أخرى، ما زال الجميع يتخبط في طريق مليء بالضباب الكثيف، وقد تمر بضع سنوات قبل أن ينقشع هذا الضباب. يأمل سومرفيلد في أن التجارب ستساعدنا لإيجاد بعض القوانين الجديدة، فهو يعتقد في الروابط العددية، وهي تقريبا ما تشبه نوعًا من التصوف العددي عند الفيثاغوريين المطبق على تناغم الأوتار المهتزة. وهذا ما يفسر لماذا أطلق العديد منا على هذا الجانب من علمه الصوفية الذرية **Atomysticism**، رغم ذلك وبقدر ما أقول، إنه لا أحد قادر على افتراض أفضل من ذلك، وربما من السهل أن يتمكن المرء من إيجاد طريقة ما غير مألوفة مع هذا التماسك الرائع للفيزياء الكلاسيكية، وهذه ميزة قد أقررتها هناك. أضاف فولفجانج بابتسامه ساخرة: "بيد أن المعرفة وحدها لا تعد ضمانا للنجاح". على الرغم من هذا الهجوم، فقد أكد فولفجانج لي أنني ينبغي أن أفكر قبل اتخاذ قرار أن أجعل الفيزياء مهنتي. لقد كنت سعيدًا لا لأنني حاولت دراسة الرياضيات البحتة، ومن ثم نظرت مرة أخرى إلى كلب ليندمان الصغير كما لو أنه "جزء من القوة الذي يرغب في عمل مكيدة ما، إلا إنه يصنع الخير دائما".

"من الفيزياء وما ورائها" فيرنر هايزنبرج.

From "physics and Beyond, by Werner Heisenberg (Harper & Row, 1971).

ـ العلم والدين:

في ذات مساء وفي أثناء مؤتمر سولفاي، أقام بعض من أعضاء المؤتمر الشباب خلف قاعة الفندق، كان من بين هؤلاء الأعضاء فولفجانج، وباولي وأنا، ثم انضم إلينا بعد ذلك بقليل بول ديراك. أثار أحدنا سؤالاً: "لماذا أبقى آينشتين على الإله، ماذا نصنع به؟ من الصعوبة أن نتصور عالمًا مثل آينشتين أن تكون له علاقة قوية بأي تقليد ديني". اعترض شخص آخر: "ليس اينشتين مثل ماكس بلانك" فقد يبدو من كلام بلانك أنه لا يوجد تناقض بين الدين والعلم، ويعتقد أنهما متوافقان تمامًا.

وقد سُئلت عما أعرفه عن وجهة نظر بلانك في هذا الصدد، وما الذي أعتقده أنا شخصيًا. لقد تحدثت مع بلانك فقط في مناسبات قليلة، معظمها كان يدور حول الفيزياء وليس عن القضايا العامة، ولكنني كنت أعرف أصدقاء مقربين لبلانك أخبروني بالكثير عن موقفه.

كان يتوجب عليَّ أن أجيب: "إنني أفترض أن بلانك يعتبر أن الدين والعلم متوافقان، لأنهما، يشيران، من وجهة نظره، إلى وجهين مختلفين تماما من الحقيقة. فالعلم يتعامل مع العالم المادي الموضوعي، فهو يقدم لنا عبارات دقيقة عن الحقيقة الموضوعية وفهم علاقاته المتداخلة. على الجانب الآخر، يتعامل الدين مع عالم القيم، يهتم بما ينبغي أن يكون وما ينبغي أن نسلكه، وليس عما هو كائن بالفعل. نهتم في العلم بالكشف عما هو صواب أو خطأ؛ أما في الدين فنهتم فيما يتعلق بالخير أو الشر، ماله قيمة وما هو عديم القيمة، العلم أساس التكنولوجيا، في حين الدين أساس الأخلاق. باختصار، يبدو أن هذا الصراع بين الاثنين، والذي كان مستعرًا منذ القرن الثامن عشر – قد استند على سوء فهم أو بتعبير أدق، على الخلط بين صور وقصص الدين مع العبارات العلمية، غنى عن القول إن هذه

النتيجة تعتبر هراء. هذه الوجهة من النظر التي أعرفها جيدا من والدي، هي ارتباط كل مجال من هذين المجالين بالجوانب الموضوعية والذاتية في العالم، فالعلم، إذا جاز لنا التعبير، نتصدى من خلاله للجانب الموضوعى من الحقيقة والواقع، أما الاعتقاد الديني على العكس من ذلك، هو تعبير عن القرارات الذاتية التي تساعدنا على اختيار المعايير التي يتطلبها العمل والعيش. وباعتراف الجميع، نتخذ عادة هذه القرارات وفقًا لاتجاهات الجماعة التي ننتمي إليها. سواء كانت الأسرة أم الشعب أم الثقافة، تتأثر قراراتنا بقوة بالعوامل التربوية والبيئية، ولكنها في التحليل النهائي هي قرارات ذاتية، وبالتالي لا تخضع لمعيار "الصواب" و"الخطأ"، لقد استخدم ماكس بلانك، إذا كنت فهمته بشكل صحيح، هذه الحرية لينهال مباشرة على جانب التقليد المسيحي. كانت أفكاره وأفعاله، بخاصة التي أثرت في علاقاته الشخصية، تنبعان تمامًا من إطار هذا التقليد، ولا يمكن لأحد إلا أن يجل له مزيدا من الاحترام. إن ما أثار اهتمام بلانك، أن الجانبيين الموضوعي والذاتي للعالم منفصلان تمامًا، ولكن لا بد من أن أعترف بأنني شخصيًا لا أشعر بالارتياح لهذا الانفصال. إنني أشكك في أن المجتمعات البشرية لا يمكن أن تعيش في وجود هذا الفصل بين العلم والدين".

شاركني فولفجانج قلقي وقال: "كل ما هو مقيد حتما لا بد من أن ينتهي بالدموع". ففي الوقت الذي شهد نشأة الدين، كانت المعرفة المتاحة للجماعة الخاصة تتناسب مع الإطار الروحي الذي يقوم أساسًا على أفكار وقيم دينية. وقد كان لا بد لهذا الإطار الروحي من أن يكون مفهومًا لأبسط عضو من أعضاء الجماعة، حتى لو كانت القصص والصور لا تنقل شيئًا سوى بعض التلميحات لقيمها وأفكارها الأساسية. ولكن إذا كان هذا الرجل البسيط نفسه ارتضي العيش وفق هذه القيم، فإنه يجب أن يكون على قناعة بأن الإطار الروحي ينال قبول حكمة مجتمعه، ذلك لأن "الإيمان" لا يعنى بالنسبة له "التسليم" وإنما يعنى الثقة في هذا التوجه من قبل

القيم المقبولة. وهذا يفسر لماذا يستشعر مجتمع ما الخطر عندما تنشأ معرفة جديدة تهدد بتفجير صور روحية قديمة. إن الفصل التام بين العلم(*) والمعتقد الديني يمكن أن يكون في أحسن الأحوال قياسا طارئا، يحمل بعض الارتياح المؤقت. فنحن في الثقافة الغربية. على سبيل المثال، قد نصل إلى اللحظة في المستقبل القريب التي لا تكون فيها القصص والصور الدينية لديها القدرة الإقناعية بالنسبة للإنسان البسيط، عندئذ أخشى أن تنهار كل الأخلاق القديمة كبيت من الورق، وسترتكب فظائع لا يمكن تصورها، باختصار، لا يمكن حقا أن أساند فلسفة بلانك، حتى لو كانت صحيحة منطقيا رغم أنني أحترم المواقف الإنسانية التي تثيرها هذه الفلسفة.

"أما تصور أينشتين فهو أقرب لي، فالله محايث في القوانين الطبيعية الثابتة. آينشتين لديه شعور بنظام مركزي للأشياء، ويمكن الكشف عن هذا النظام في بساطة القوانين الطبيعية. ويمكننا القول بأنه قد عاش مباشرة هذه البساطة في أثناء اكتشافه للنظرية النسبية، وباعتراف الجميع، فإن هذا يعتبر بعيدًا كل البعد عن مضامين الدين. لا أعتقد أن آينشتين ارتبط بأي تقليد ديني، وأعتقد أن فكرة إله مشخص هي فكرة غريبة بالنسبة له. ولكن بقدر ما يشعر آينشتين بالقلق بأنه ليس ثمة انفصالات بين العلم والدين؛ فإن النظام المركزي ينتمي إلى المجال الذاتي بالقدر نفسه الذي ينتمي به إلى المجال الموضوعي، وهذا يعتبر بالنسبة لي أفضل منطلق نبدأ به".

لقد سألت: لماذا يعد هذا المنطلق بمثابة نقطة بداية؟ إذا نظرت إلى موقف آينشتين فيما يتعلق بالنظام المركزي على أنه مسألة شخصية بحتة، ربما تتفق مع وجهة نظره، ولكن بعد ذلك يجب أن تسلم بأن هذه "الوجهة من النظر لا تفضي إلى شيء". أجاب فولفجانج: "ربما يحدث هذا. "لقد أحدث تطور العلم، خلال القرنين الماضيين، تغيرًا في تفكير آينشتين. حتى خارج الغرب المسيحي. لذلك فإن ما يفكر

(*) يستخدم هايزنبرج هنا كلمة **knowledge** معرفة بمعني العلم. (المترجم)

فيه الفيزيائيون يعد قليلاً إلى حد ما. وعلى وجه التحديد فـإن فكـرة وجـود عـالم موضوعي، يتحرك فيه الزمان والمكان وفقًا لقوانين السببية الصارمة، هو الذي أدى إلى هذا النزاع بين العلم والصياغات الروحية للأديان المختلفة. ولكن ما إن تجـاوز العلم هذه النظرة الضيقة، وهذا ما فعلته تماما نظرية النسبية، ومن المرجح أن تفعـل ذلك نظرية الكم وأن تذهب إلى أبعد من ذلك، فإن العلاقة بـين العلـم والمـضامين الدينية يجب أن تتغير هي الأخرى. ولعل العلم قد كشف لنا عن وجود علاقات جديدة خلال الأعوام الثلاثين الماضية، الأمر الذي جعل تفكيرنا أكثر عمقا. فعلـى سـبيل المثال، فإن مفهوم التتام الذي يعتبره نيلز بور حاسمًا لتفسير نظرية الكم، لم يكن بأي حال من الأحوال، معروفا للفلاسفة، حتى إن لم يذكر بشكل محكم. إن ظهـور هـذا المفهوم في العلوم الدقيقة قد أدى إلى تغير فاصل، فالفكرة القائلة بأن الأشياء الماديـة مستقلة تمامًا عن الطريقة التي نلاحظ بها هذه الأشياء لا تبرهن على شـيء، سـوى استقراء مجرد، وهو الأمر الذي لا نظير له في الطبيعة. نجد في الفلـسفة الآسـيوية والديانات الشرقية فكرة التتام في موضوع المعرفة الخالصة، حيث لا يواجه المـرء شيئا ما. هذه الفكرة تبرهن أيضا على استقراء مجرد ولا تطابق أية واقعة روحية أو عقلية، إذا فكرنا في سياق أوسع، قد نضطر في المستقبل الحفاظ على اتجـاه وسـط بين هذين النقيضين، وهو مفهوم التتام الذي رسم حدوده بور. إن أي علم يستند على هذه الصورة من التفكير لا يكون أكثر تسامحًا مع الصور المختلفة للدين فحسب، بـل ربما يساهم في عالم القيم لما لديه من رؤية أكثر شمولاً".

في هذه الأثناء انضم إلينا بول ديراك، الذي لم يكن قد تجاوز آنذاك الخامسة والعشرون من عمره، والذي أبدى قليلاً من التسامح وأبدى اعتراضه قائلاً: " إنني لا أعرف لماذا نتحدث عن الدين. إذا كنا أمناء مع أنفسنا، وهذا مـا يجـب علـى العلماء، فيجب أن نعترف أن الدين مليء بمزاعم كاذبة، ولا يوجد لها أساس فـي الواقع. وأن فكرة الله هي من نتاج مخيلة الإنسان. لهذا أصبح مفهوما تمامًا لمـاذا كانت الشعوب البدائية – الذين كانوا أكثر من غيرهم تعرضًا لقوى الطبيعة الخارقة

بالمقارنة بما نحن فيه اليوم – يشخصون هذه القوى خوفا. إلا إننا اليوم بمكننا فهم الكثير من العمليات الطبيعية، وبالتالى لسنا في حاجه إلى مثل هذه الحلول. إنني لا أستطيع أن أفترض هذه المسلمة التي تقول إن الله قادر على أن يساعدنا بأي شكل من الأشكال، وهذا يؤدي، كما أرى، إلى إثارة تساؤلات من قبيل لماذا يسمح الله بالبؤس والظلم واستغلال الأغنياء للفقراء والكثير من الأهوال الأخرى، إذا كان قادرا على منعه. إذا كان الدين ما زال يُدرس، فإن هذا لا يعود إلى أفكاره التي ما زالت تقنعنا، بل لكونه ببساطة يجعل الطبقات الدنيا في حالة سكينة وهدوء. فحكم الشعوب المستكينة الهادئة أيسر بكثير من تلك الشعوب الصاخبة التي تظهر استيائها. أما الطبقات الدنيا فمن السهل استغلالها. إن الدين نوع من الأفيون الذي يمني الشعوب بالأحلام السعيدة وينسيها الظلم الواقع عليها. ومن هنا جاء التحالف الوثيق بين القوتين السياسيتين الكبيرتين، الدولة والكنيسة. فكلاهما في حاجة إلى الوهم. إن الله المحسن يثيب، إن لم يكن على الأرض ففي السماء، أولئك الذين لا يتمردون ضد الظلم ويؤدون واجبهم بهدوء وسكينة. وهذا بالضبط ما يؤكد لماذا هذا التأكيد على أن الله فكرة من نتاج مخيلة الإنسان. هذه الفكرة التي صارت مكافئة لرزيلة الخوف من الموت".

أبديت اعتراضا قائلا: "أنت تحكم ببساطة على الدين من خلال انتهاكاته السياسية، وحيث إننا يمكن أن ننتهك معظم الأشياء في هذا العالم – حتى الأيدولوجيا الشيوعية التي تحدثت عنها مؤخرًا بجميع أحكامها غير مقبولة. بعد كل هذا، يوجد دائمًا مجتمعات إنسانية ولا بد من أن يكون هناك لغة مشتركة تمكنها من الحديث عن الحياة والموت وعن السياق الأوسع الذي يوجه حياتهم. إن الصور الروحية التي تطورت تاريخيًا في البحث عن لغة مشتركة لا بد من أن يكون لديها قوة إقناع – وإلا كيف يمكن لكثير من الناس العيش بها لقرون عديدة؟ لا يمكن استبعاد الدين ببساطة، إلا إذا كنت منجذبا لدين آخر مثل الدين الصيني القديم. حيث لا تظهر فكرة الإلة المشخص؟".

أجاب ديراك بقوله: "إنني أبغض الأساطير الدينية من حيث المبدأ. ذلك لأن أساطير الأديان المختلفة تتناقض مع بعضها بعضًا. على أية حال، كانت محض صدفة أن ولدت في أوروبا وليس في آسيا، وهذا بالتأكيد ليس معيارا للحكم على ما هو صواب، وما الذي يجب على أن أعتنقه. إنني أستطيع فقط أن أومن بما هو صواب. والعمل الصالح، أستطيع أن أستنتج هذا بالعقل فقط من خلال الموقف الذي أجد فيه نفسي. أعيش في مجتمع مع الآخرين الذين هم، من حيث المبدأ، لهم الحقوق نفسها التي أدعيها لنفسي. إذن يتعين عليَّ أن أحاول ببساطة أن أتوصل إلى توازن عادل، ولا يمكن أن أطلب أكثر من هذا، كل هذا الحديث عن إرادة الله، عن الخطيئة والتوبة، عن ما وراء هذا العالم الذي يوجه حياتنا، لا يؤدي إلا إلى اخفاء حقيقة واقعية، أن الاعتقاد في إله يشجع على الامتثال لقوة عليا، وهذه الفكرة تساعد على حفظ البيئات الاجتماعية التي قد تكون جيدة تماما في الماضي إلا إنها لا تعد ملائمة لعالمنا الحديث. إن كل ما تبذلونه من حديث عن السياق الأوسع وما شابه ذلك هو أمر غير مقبول بالنسبة لي تماما. إن أي شيء يقال أو يمارس في الحياة هو تماما ما يقال ويمارس في العلم، حيث نقف في كلتا الحالتين في مواجهة الصعوبات ونحاول حلها. ولا نقدر البتة أن نحل أكثر من صعوبة واحدة في وقت واحد، إن الحديث عن السياق الأوسع ليس سوى بنية عقلية فوقية تم إضافتها لاحقا".

استمرت المناقشة وقد أصبنا جميعًا بالدهشة عندما لاحظنا أن فولفجانج كان صامتاً. فمن حين لآخر كان يطل علينا بوجه كئيب أو ابتسامة ساخرة. ولكنه لم يقل شيئًا، ولكن في نهاية المطاف طلبنا منه أن يبدي وجهة نظره فيما يعتقد. لقد بدا عليه لأول وهلة المفاجئة حيث قال: "حسنا، إن صديقنا ديراك له دين وإن مبدأه الموجه له أنه لا يوجد إله وإن ديراك هو نبيه". ضحكنا جميعًا ومعنا ديراك وانتهت بذلك المحاورة المسائية في قاعة الفندق.

بعد عدة أيام، ربما كان ذلك في كوبنهاجن، أخبرت نيلز بور عن حوارنا الذي دار، بيد أنه انتفض مدافعا في الحال عن العضو الجديد في دائرتنا، وقال: "إنني أعتبر هذا رائع جدا، حيث إن باول يتمسك بمبادئه بشدة في الدفاع عن كل ما يمكن التعبير عنه بلغة واضحة ومنطقية. وأعرب عن اعتقاده بأن ما يمكن أن يقال بوضوح وما لا يمكن الحديث عنه وما يفضل الصمت عنه، كما وضع ذلك فتجنشتين، إنه عندما أرسل لي ديراك مسودته، فإن كتابته كانت دقيقة للغاية وخالية من التصويبات بحيث تبعث على الشعور بالمتعة الجمالية. وعندما أقترح عليه تغيرات طفيفة يبدي باول شعورا بالاستياء، ولا يقبل بتغيير أي شيء على الإطلاق. على أية حال، إن عمله ممتاز للغاية. ذهبنا مؤخرا إلى معرض للفنان ماني حيث علقت لوحة لمنظر البحر يغلب عليها اللون الأزرق الرمادي. حيث كان فيها قارب في المقدمة وبجانبه ظهرت نقطة رمادية داكنة في الماء بحيث لم يفهم معنى وجودها بشكل واضح تماما. عندئذ قال ديراك: "إن هذه النقطة غير مقبولة في هذا المكان". إنها طريقة غريبة في النظر إلى الفن ولكن ربما كان على حق تماما. إن العمل الفني الجيد، مثله مثل العمل العلمي، لا بد له من وضع تفاصيل واضحة تمامًا حتى لا يكون هناك مجالا لأية حادثة عارضة". مع ذلك فإن الدين إلى حد ما موضوع مختلف. إنني أتفق تمامًا مع ديراك، أن فكرة الإله المشخص تبدو غريبة بالنسبة لي. ولكن علينا أن نتذكر أن الدين يستخدم لغة تختلف تماما عن تلك المستخدمة في العلم. إن لغة الدين أقرب إلى اللغة المستخدمة في الشعر منها للغة العلم. صحيح أننا نميل إلى الاعتقاد بأن العلم يتعامل مع معلومات عن وقائع موضوعية، بينما يتعامل الشعر مع مشاعره الذاتية. من هنا يمكن أن نستنتج، إذا كان الدين يتعامل حقًا مع حقائق موضوعية، فإنه يجب أن يخضع إلى معيار الصدق نفسه في العلم. إلا إن تقسيم العالم إلى موضوعي وذاتي، يبدو تقسيمًا تعسفيًا للغاية. فإذا كان حقا أن الأديان على مر العصور قد تحدث من خلال القصص والصور والمفارقات، فإن هذا يعني ببساطة أنه ليس ثمة طرقًا أخرى

لاستيعاب الواقع الذي تشير إليه. إن تقسيم هذا الواقع إلى موضوعي وذاتي لا يجعلنا نصل إلى شيء. وأضاف: "وهذا السبب في أنني أعتبر ان تلك التطورات التي حدثت في الفيزياء خلال العقود الماضية قد أظهرت كيف أن هذين المفهومين الإشكاليين "الموضوعي" و"الذاتي" يعملان على تحديد فكرنا، بدأ الأمر برمته من نظرية النسبية. حيث كنا نعتبر من قبل، أن العبارة التي تقول إن الحدثين اللذين يقعان بشكل متزامن موضوعيان، ومن السهولة أن نتحقق من هذا من قبل الملاحظ. أما اليوم فنحن نعرف أن "التزامن" يتضمن عنصرا ذاتيا. ذلك لأن الحدثين اللذين يظهران للملاحظ في حالة سكون على أنهما متزامنين، لا يظهران كذلك بالضرورة لملاحظ آخر في حالة حركة. ومع ذلك فإن الوصف النسبي يعتبر موضوعيا بالقدر الذي يستطيع الملاحظ به أن يستنبط بالحساب، ما الذي سوف يدركه الملاحظ الآخر وما الذي أدركه بالفعل. على أيه حال، لقد ابتعدنا كثيرا عن الأوصاف الموضوعية للمثالية الكلاسيكية".

"تمت عملية الإقلاع عن هذه المثالية بشكل جذري مع ميكانيكا الكم. ولكن يمكننا استخدام اللغة الموضوعية للفيزياء الكلاسيكية للإدلاء بعبارات عن الوقائع الملاحظة، فعلى سبيل المثال، يمكننا القول إن اللوحة الفوتوغرافية قد اصطبغت باللون السود، أو تكونت قطرات بخارية، ولكن لا يمكننا أن نتحدث عن الذرات نفسها، وما يمكن أن نتنبأ به من هذه النتائج إنما يتوقف على الطريقة التي تشكل سؤالنا التجريبي، ويكون هنا للملاحظ حرية الاختيار. بطبيعه الحال، ما زال الفارق غير موجود إذا كان الملاحظ إنسانا، أو حيوانًا أو جهازًا، ولكن لا يمكن التنبؤ دون الرجوع إلى الملاحظ أو وسائل الملاحظة. إلى هذا الحد، يمكن القول إن كل عملية فيزيائية لها سماتها الموضوعية والذاتية. لقد كان عالم العلوم الطبيعية الموضوعي في القرن التاسع عشر، كما نعرف اليوم، مثاليًا ومحدودا ولا يعبر عن الواقع ذاته. وباعتراف الجميع، يجب علينا عندما نواجه الواقع في المستقبل أن

نميز بين الجانب الموضوعي والذاتي، وأن نقيم فاصلا بين الاثنين. ولكن هذا الحد الفاصل يعتمد على الطريقة التي ننظر من خلالها للأشياء، ويمكن اختيار ذلك، إلى حد ما وفقا لإرادتنا. ومن هنا أستطيع أن أفهم تماما لماذا لا نستطيع التحدث عن مضمون الدين بلغة موضوعية. في حقيقة الأمر، تحاول الأديان المختلفة أن تعبر عن هذا المضمون الروحي بصور مختلفة تمامًا، وهذا لا يعنى توجيه اعتراض لحقيقة الدين. ربما يتعين علينا النظر إلى هذه الصور المختلفة باعتبارها وصف التنامية التي، على الرغم من استبعاد بعضها بعضًا، هناك حاجة إليها للتعبير عن هذه الاحتمالات الثرية المتدفقة عن علاقة الإنسان بالنظام المركزي".

لقد تساءلت: "إذا ميزنا بشكل قاطع لغة الدين عن لغة العلم عن لغة الفن، فما معنى إذن تلك العبارات الدامغة التي تقول: "يوجد إلهًا حيًا" أو توجد روح خالدة؟ فما معنى "يوجد" في هذا النمط من اللغة؟ يقدم العلم اعتراضًا، وكذلك ديراك، على مثل هذه الصياغات. اسمحوا لي أن أوضح هذا الجانب الإبستيمولوجي لهذه المشكلة عن طريق القياس التالي :

كما يعرف الجميع فإن علماء الرياضيات يعملون وفق وحدة تخيلية، فالجذر التربيعي لسالب واحد والذي نرمز إليه بالرمز "س" ونحن نعرف أن "س" ليس عددًا من بين الأعداد الطبيعية. ومع ذلك، فإن فروعًا كثيرة مهمة، في الرياضيات، مثل نظرية الدوال التحليلية، تستند على هذه الوحدة التخيلية، وهذا يعنى أن $\sqrt{-1}$ يوجد بالفعل. هل توافق على هذه العبارة، أن $\sqrt{-1}$ لا يعنى شيئًا آخر غير " أن هناك علاقات رياضياتية مهمة يمكن تمثيلها ببساطة أكثر بإدخال مفهوم $\sqrt{-1}$ ؟ وأن هذه العلاقات موجودة دون وجود هذا المفهوم. لهذا السبب بالتحديد يفسر لماذا يعد هذا النمط من الرياضيات مفيدًا جدًا في مجال العلم والتكنولوجيا. إن ما يمكن الجزم به في نظرية الدوال، على سبيل المثال، هو وجود قوانين رياضياتية مهمة تحكم سلوك زوجين من المتغيرات المستمرة، يمكن فهم هذه العلاقات بشكل أكثر

شمولاً بإدخال المفهوم المجرد $\sqrt{-1}$، على الرغم من أن الحاجة إلى هذا المفهوم ليست أساسية لفهمنا، وعلى الرغم من أنه ليس له نظير في الأعداد الطبيعية. هناك مفهوم مجرد آخر هو اللانهائية، الذي يلعب أيضًا دورًا مهمًا في الرياضيات الحديثة. على الرغم من أنه ليس له علاقة، سوي أنه يثير مشكلات خطيرة. باختصار تدخل الرياضيات مراحل جديدة من التجريد وتساعدنا على بلوغ فهم أوسع ومتسق لمجالات أكثر اتساعا من أي وقت مضى. نعود إلى سؤالنا الأصلي، هل من الصواب أن ننظر إلى كلمة "يوجد" في الأديان بشكل مختلف. ورغم هذا الاختلاف، فمحاولة الوصول إلى مستويات عالية من التجريد، هل هذه المحاولة تيسر لنا فهمنا للعلاقات الكلية؟ بعد كل هذا، فإن العلاقات ذاتها موجودة بالفعل بغض النظر عن الأشكال الروحية التي نحاول من خلالها إدراك هذه العلاقات.

أجاب بور: "فيما يتعلق بالجانب الإبستمولوجي للمشكلة فإن مقارنتك هذه صحيحة، ولكن في جانب آخر لا تعد كافية بالمرة. يمكننا في الرياضيات أن نبتعد عن المحتوى الداخلي لعباراتنا. والرياضيات في التحليل النهائي هي لعبة عقلية يمكن أن نشارك فيها أو لا نشارك. في حين أن الدين، من جهة أخرى، يتعامل معنا نحن البشر، مع حياتنا وموتنا؛ مع الوعود التي تحكم تصرفاتنا، على الأقل بشكل غير مباشر، وتحكم أساس وجودنا. لا نستطيع أن نقف إزاءها موقف المتفرجين. علاوة على ذلك، فإن موقفنا من المشاكل الدينية لا ينفصل عن موقفنا من المجتمع. لقد أصبح الدين بمثابة البنية الروحية للمجتمع الإنساني، فقد كان يمثل قوة اجتماعية صلبة على مر التاريخ، ويمكن للمجتمع القائم أن يطور بنيات روحية جديدة ويكيفها وفقًا لمستوى معين من المعرفة، يبدو في هذه الأيام أن الفرد قادر على اختيار الإطار الروحي لأفكاره وأفعاله بحرية تامة، وأن هذه الحرية تعكس حقيقة أن الحدود بين مختلف الثقافات والمجتمعات بدأت في التلاشي.

ومع ذلك فإن الفرد عندما يحاول تحقيق أكبر قدر ممكن من الاستقلالية، فإنه يتأثر بالبنيات الروحية القائمة، سواء كان هذا بوعي أو دون وعي، ذلك لأنه يتحتم عليه الحديث عن الحياة والموت ووضع الإنسان بالنسبة لأعضاء المجتمع الآخرين، واختياره لطريقة العيش وتربية أطفاله وفق معايير هذا المجتمع، وانغماسه في الحياة الاجتماعية. إن السفسطات الإبستمولوجية لا تساعده على تحقيق هذه الغايات.

أيضا، تقوم العلاقة التتامية بين التفكير الناقد والمضمون الروحي لدين أو لسلوك ما على القبول المدروس لهذا المحتوى، إذا وصل الفرد إلى مثل هذا القبول بوعي، فإن هذا يجعله ممتلئا بقوة العزيمة التي تساعده على تخطي الشكوك، فإذا ما أصابه عناء تمده بنوع من العزاء الذي يجعل لوجوده معنى ويعطيه الحماية تحت مظلة شاملة. بهذا المعنى يساعد الدين في جعل الحياة الاجتماعية أكثر توازنا، كما أن مهمته الأكثر أهمية أنه يذكرنا، بلغة الصور والقصص، بالإطار الأوسع الذي يتغلغل داخل حياتنا".

قلت: "إنك تشير هنا باستمرار إلى الاختيار الحر للفرد، وتقارن هذا بالحرية التي ينظم بها عالم الفيزياء الذرية تجاربه بالطريقة ذاتها. لم تعد لعالم الفيزياء الكلاسيكية أية حرية. فهل هذا يعني أن الخصائص المميزة للفيزياء الحديثة لها تأثيرها المباشر على مشكلة حرية الإرادة؟ كما تعرفون هذه الحقيقة، أنه لا يمكن تحديد العمليات الذرية تحديدًا كاملاً، ولكن غالبا ما تستخدم حجة لحرية الإرادة والفاعلية الإلهية".

"إنني على قناعة بأن هذا الموقف يستند برمته على سوء فهم، أو بالأحرى على خلط القضايا التي تنتمي، بقدر ما أفهم، إلى طريق تتامية متميزة في النظر إلى الأشياء. عندما نتحدث عن حرية الإرادة نشير إلى الموقف الذي ينبغي أن نتخذ القرار بشأنه. لا يمكن الجمع بين الموقف الذي نحلل فيه دوافع أفعالنا أو

الموقف الذي ندرس فيه العمليات الفسيولوجية على سبيل المثال، العمليات الكهروكيميائية في المخ. بعبارة أخرى، هما متتامان، وبالتالي فإن السؤال ما إذا كانت القوانين الطبيعية تحدد الوقائع بشكل كامل أم فقط بطريقة إحصائية لا تتأثر كثيرًا بقضية حرية الإرادة؟ بطبيعة الحال، فإن طرقنا المختلفة في النظر إلى الأشياء يجب أن تتلاحم في النهاية، أعني يجب أن نكون على دراية بها بوصفها أجزاء غير متناقضة من الواقع نفسه، على الرغم من أننا لا يمكن أن نعرف على وجه الدقة كيف يتم ذلك. عندما نتحدث عن الفاعلية الإلهية، فإننا لا نشير صراحة إلى الحتمية العلمية لواقعة ما، بل لمغزى العلاقة بين هذه الواقعة وغيرها، أو بينها وبين الفكر الإنساني. هذه العلاقة العقلية جزء من الواقع باعتبارها سببية علمية؛ وسيكون تبسيطا مخلاً إذا اعتبرناها تنتمي إلى الجانب الذاتي من الواقع.

يمكن أن نتعلم مرة أخرى من موقف مشابه في العلوم الطبيعية، فمن المعروف أن هناك علاقات بيولوجية لا يمكن وصفها وفقا لمبدأ السببية، بل بالأحرى يمكن وصفها وفقا لمبدأ الغائية. أي وفق غاياتها. يمكننا أن نفكر في عملية الشفاء التي تتم بعد إصابة أي كائن حي بجروح. إن التفسير الغائي له علاقة تتامية مميزة تستند على قوانين فيزيوكيميائية أو ذرية، وهذا يعني أننا نطرح سؤالا عما إذا كانت العملية تؤدي إلى الهدف المنشود وهو إعادة الأوضاع الطبيعية للكائن الحي، أما في الحالة الأخرى، فنطرح سؤالاً حول السلسلة السببية التي تحدد العمليات الجزيئية. هذان الوصفان لا يجتمعان معًا ولكنهما ليسا بالضرورة متناقضان. لدينا سببًا وجيها لافتراض صحة قوانين ميكانيكا الكم في الكائن الحي، تمامًا بالمثل بالنسبة للمادة غير الحية. يعتبر الوصف الغائي بعد هذا كله صحيحا. أعتقد أن تطور الفيزياء الذرية قد علمنا شيئا، وهو أن نتعلم كيف نفكر بشكل دقيق مقارنة بما كنا في الماضي".

اعترض على هذا القول: "فنحن دائما نعود إلى الجانب الإبستمولوجي للدين إلا إن هجوم ديراك على الدين كان موجه أساسًا للجانب الأخلاقي للـــدين. رفــض ديراك على وجه الخصوص الكذب وخداع النفس اللذين يقترنـــان غالبـــا بـــالتفكير الديني. ولكن في أثناء اشمئزازه أصبح مدافعًا متعصبًا عن العقلانية، وأنني أشـــعر أن العقلانية ليست كافية".

أما نيلز فقد قال: "أعتقد أن ديراك كان موفقا جدا حين أشـــار بقـــوة ضـــد مخاطر خداع النفس والتناقضات الداخلية. بل كان فولفجانج أيضا علـــى صـــواب عندما لفت نظر ديراك مازحا إلى صعوبة تلافي هذا الخطر تماما". ختم بعد ذلـــك نيلز هذا الحوار بقصة من تلك القصص التي يحب سردها دائما فـــي مثـــل هـــذه المناسبات وهي: أن واحدا من جيراننا من تيزفيلدي قد وضع فوق باب منزله حدوة حصان وعندما سأله صديق "هل أنت حقا تعتقد في الخرافات؟ هل تعتقـــد حقـــا أن حدوة الحصان تجلب لك الحظ؟" أجاب قائلاً: "بالطبع لا، ولكن يقول النـــاس، إنـــه يساعد في جلب الحظ حتى ولو لم تعتقد فيه".

From "physics and Beyond by Werner Heisenberg".

(Harper & Row,1971)

معجم المصطلحات الواردة في الكتاب

(A)

Absolute	المطلق
Acceleration	تعجيل
Alpha-particles	جسيمات ألفا
Angular momentum	كمية التحرك الزاوية
Apriori	قبلي
Argument	حجة
Assumption	افتراض
Attitude	موقف
Atomic mass	الكتلة الذرية
Atomic nuclei	النواة الذرية
Atomic Spectrum	الطيف الذري
Atomic structure	البنية الذرية
Atomic Weopons	الأسلحة الذرية

Axiom	بديهية
Axiomatic System	نسق بديهي

(B)

Being	الوجود
Becoming	الصيرورة
Big bang	الانفجار العظيم
Black body	الجسم الأسود
Bohr-Sommerfeld quantum condition	شرط بور – سومرفيلد الكمي

(C)

Cause	سبب/ علة
Cartesian	الديكارتية
Classical mechanics	الميكانيكا الكلاسيكية
Cloud chamber	غرفة سحابية
Closed system	نسق مغلق
Concept	مفهوم
Common sense	الحس المشترك
Complementarity	التتام
Compton effect	تأثير كمبتون

Contradictions	تناقضات
Correspondence principle	مبدأ التناظر
Conservation of energy	حفظ الطاقة
Counterproposal	مقترح مضاد
Conventional philosophy	الفلسفة الاصطلاحية
(D)	
Dialectic materialism	المادية الجدلية
Dogmatic realism	الواقعية الدوجماطيقية
(E)	
Eigensolutions	كامنة حلول ذاتية
Eigenvalues	كامنة قيم ذاتية
Elementary particle	الجسيم الأولي
Empiricism	المذهب التجريبي
Empirical facts	الوقائع التجريبية
Equation	معادلة
Ether	الأثير
(F)	
Formalism	الصورية

Fourier expansion	مفكوك فورييه
Fourier series	متسلسلة فورييه
Free will	حرية الإرادة
(G)	
Gamma-rays	أشعة جاما
Gernal relativity	النسبية العامة
Gravitation	الجاذبية
(H)	
Hard realism	الواقعية الجامدة
Head radiation	إشعاع حراري
Hidden parmeters	القياسات المخبئة
Hypothesis	فرض/ فرضية
(I)	
Ideal experiments	التجارب المثالية
Ideological superstructure	البنية الفوقية الإيدولوجية
Infinity	اللانهائي
Interia	القصور الذاتي
Intuition	الحدس

(J)

Judgment	حكم

(K)

Kinetic theory	النظرية الحركية
Knowledge	المعرفة

(L)

Law of quantization	قانون التكميم
Limiting case	حالة حدية
Line spectrum	طيف خطي
Logic	المنطق

(M)

Mass	كتلة
Mathematical formalism	الصورية الرياضية
Mathematical logic	المنطق الرياضي
Materialism	المادية
Matrix mechanics	ميكانيكا المصفوفات
Matter	المادة
Metaphysics	الميتافيزيقا

Method	منهج
Modern physics	الفيزياء الحديثة
Motion	حركة
Myth	أسطورة
(N)	
Natural science	العلوم الطبيعية
Nuclear physics	الفيزياء النووية
(O)	
Orbital motion	الحركة المدارية
(P)	
Particle	جسيم
Phenomenon	ظاهرة
Plank's constant	ثابت بلانك
Philosophy	الفلسفة
Positivist scheme	منهج وضعي
Position	موضع
Postulate	مسلمة
Progress	تقدم

Pure reason	العقل الخالص
(Q)	
Quantum	كم
Quantum number	عدد كمي
Quark	كوارك
(R)	
Radiation	الإشعاع
Reality	الواقع
Realism	الواقعية
Relativity	النسبية
(S)	
Simultaneity	التزامن
Spectroscopy	التحليل الطيفي
Statistical mechanics	الميكانيكا الإحصائية
Substance	جوهر
Synthetic	تركيبي
(T)	
Term	مصطلح

Tradition	تقليد
Theology	اللاهوت
Truth	الصدق
(U)	
Uncertainty principle	مبدأ اللايقين
Ultimate	أولي
Utility	نفعية
(V)	
Velocity	السرعة
Verification	التحقق
Vibration	اهتزاز
Vision	رؤية
(W)	
Wave	موجة
Wave function	دالة موجية

ـ المؤلف في سطور:

فيرنر هايزنبرج (١٩٠١- ١٩٧٦)

- فيزيائى ألمانى شهير.
- حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٣٢.
- من أبرز دراساته "فى نظرية الكم- إعادة التفسير النظـرى للعلاقـات الحركية والميكانيكية".

- المترجم في سطور:

خالد قطب

أستاذ مساعد فلسفة العلوم بكلية الآداب جامعة الفيوم – حصل على الدكتوراه في فلسفه العلوم والإبستمولوچيا عن رسالة بعنوان: "التقدم العلمي ومفهوم القطيعة الإبستمولوجية" من جامعة القاهرة – له العديد من الدراسات في فلسفة العلوم ومناهج البحث والتفكير العلمي. من مؤلفاته: "منطق التقدم العلمي" و"العقلانية العلمية" و"التعددية المنهجية" و"فلسفة العلم التطبيقية".

التصحيح اللغوى: **سمــــاح حيدة**

الإشـــراف الفنى: **حســــن كـــامل**

نشأت ميكانيكا الكم منذ أكثر من ثمانين عامًا، وأصبحت جزءًا جوهريًا أساسيًا لاغنى عنه من ذخيرة عالم الفيزياء النظرية. فضلا عن هذا الكم الهائل من الكتب الدراسية التي تأخذ على عاتقها تدريس هذه النظرية بطرق قياسية، وتوضح صراحة كيفية توظيف مناهجها. تعزز مبادئ ميكانيكا الكم عمل الليزر والأجهزة الإلكترونية، كما نجدها اليوم فى مجالات لم تكن مألوفة لنا كمشغل أقراص الفيديو الرقمية (DVD)، وآلات الدفع النقدي في الأسواق.

تصميم الغلاف: نسرين كشك